

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年8月8日(08.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/162004 A1

(51) 国際特許分類:

H01Q 15/14 (2006.01) *H01Q 3/36* (2006.01)

G02F 1/13 (2006.01) *H01Q 3/44* (2006.01)

G02F 1/1343 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/001137

(22) 国際出願日: 2024年1月17日(17.01.2024)

(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 2023-013602 2023年1月31日(31.01.2023) JP

(71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (**FUJIFILM CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目2番30号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 安田 英紀(**YASUDA, Hideki**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 星野 渉(**HOSHINO, Wataru**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 齊藤 之人(**SAITOH, Yukito**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).

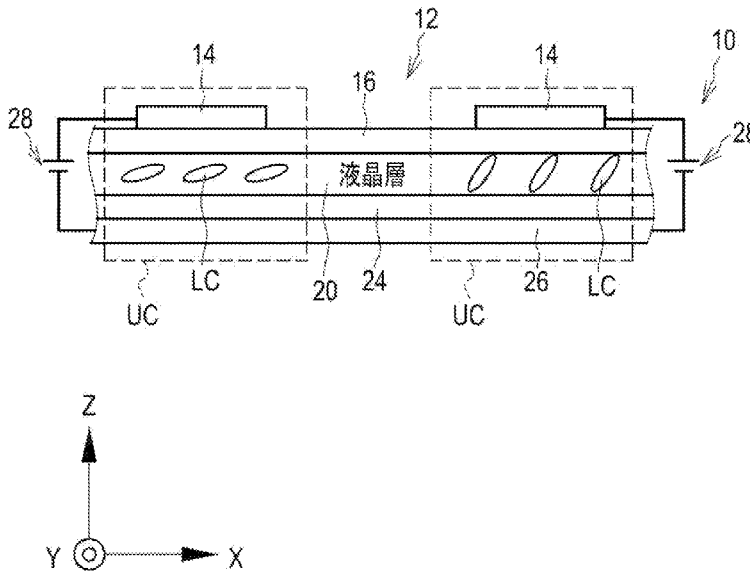
(74) 代理人: 弁理士法人太陽国際特許事務所(**TAIYO, NAKAJIMA & KATO**); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) Title: ELECTROMAGNETIC WAVE CONTROL ELEMENT

(54) 発明の名称: 電磁波制御用素子

[図4]



20 Liquid crystal layer

(57) Abstract: This electromagnetic wave control element acts on electromagnetic waves having frequencies of 0.1 to 0.3 THz and comprises: a liquid crystal layer for which the state of orientation of the liquid crystal compound is voltage variable; a metasurface structure formed by an array of a plurality of microstructures; and an electrode pair for applying voltage and constituted of a first electrode and a second electrode. The liquid crystal layer contains a methine compound.

[続葉有]

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 電圧によって液晶化合物の配向状態が変化する液晶層と、複数の微細構造体を配列してなるメタサーフェス構造体と、第1電極および第2電極によって構成され、電圧を印加するための電極対と、を有し、周波数が0.1~0.3THzの電磁波に作用するものであり、かつ、液晶層がメチン化合物を含む、電磁波制御用素子。

明 細 書

発明の名称：電磁波制御用素子

技術分野

[0001] 本開示の技術は、メタサーフェス構造体を用いる電磁波制御用素子に関する。

背景技術

[0002] 高容量無線通信に必要な高周波数電波（ミリ波、テラヘルツ波）などの電磁波は直進性が高い。そのため、電磁波の進行方向を任意の方向に曲げる反射板が求められる。しかしながら、通常の反射板は電磁波の反射方向は一定であり、しかも、反射方向は、入射角と出射角が等しい正反射となるため、電磁波の進行方向を変更する範囲の制約が大きく、電磁波を届けたい場所に届けにくいという問題があった。

[0003] そこで、非特許文献（Jingbo Wu et al., Liquid crystal programmable metasurface for terahertz beam steering, Applied Physics Letters, 116, 131104 (2020)）には、メタサーフェス構造体を利用することにより、電磁波の反射方向を正反射以外の方向に変化させたり、反射方向をアクティブに変化させることが可能な電磁波制御用素子が記載されている。このような電磁波制御用素子は、ビームステアリング素子などとも呼ばれる。

[0004] メタサーフェス構造体は、メタマテリアルを利用した構造体である。メタマテリアルは、電磁波に対して負の屈折率を有するなど自然界の物質にはない特性を示す人工物質をいう。メタサーフェス構造体は、メタマテリアルである微細構造体を複数個配列したものである。微細構造体は、透過する電磁波によって共振し、共振作用によって電磁波の位相を変調する。微細構造体の共振条件を変化させることにより、電磁波の位相の変調量を変化させることができる。電磁波制御用素子は、メタサーフェス構造体を利用して、入射する電磁波の位相を制御することにより、電磁波の進行方向を制御する。

[0005] 非特許文献に記載の電磁波制御用素子は、微細構造体の共振条件を変化さ

せるために、液晶層を用いている。液晶層においては、液晶化合物の配向状態を変化させることにより、電磁波に対する屈折率が変化する。この屈折率の変化によって微細構造体の共振条件が変化する。こうした現象を利用することにより、非特許文献に記載の電磁波制御用素子は、液晶層の屈折率の変化を通じて電磁波の位相の変調量を制御している。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 電磁波制御用素子の性能の指標の1つとして、電磁波の反射方向など、電磁波の出射方向を切り替える切り替え時間がある。出射方向の切り替え時間を短時間化することにより、例えば、無線通信を利用するユーザが密集するエリアの経時的な変化に、より迅速に対応することができる。無線通信を利用するユーザのニーズは今後も高まることが予想されており、それに伴って、出射方向の切り替え時間のさらなる短時間化が要望されている。

[0007] 本開示の技術は、液晶層を用いたメタサーフェス構造体を有する電磁波制御用素子において、周波数が0.1～0.3THzの電磁波の出射方向を従来よりも短時間で切り替えることが可能な電磁波制御用素子を提供する。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子は、電圧によって液晶化合物の配向状態が変化する液晶層と、複数の微細構造体を配列してなるメタサーフェス構造体と、第1電極および第2電極によって構成され、電圧を印加するための電極対と、を有し、周波数が0.1～0.3THzの電磁波に作用するものであり、かつ、液晶層がメチン化合物を含む。

[0009] メチン化合物が、メチン構造を有していてもよい。

[0010] 液晶層がメチン構造を有する液晶化合物を含んでいてもよい。

[0011] 第1電極および第2電極の少なくとも一方が微細構造体であってもよい。

[0012] 微細構造体とは独立した要素として、第1電極と第2電極を有していてもよい。

[0013] 第1電極および第2電極の一方は、パターン電極であってもよい。

- [0014] 微細構造体が、金属を含んでもよい。
- [0015] 微細構造体が、酸化物半導体を含んでもよい。
- [0016] 液晶層の厚さ方向に、電圧による電界が発生してもよい。
- [0017] 液晶層の厚さ方向と交差する方向に、電圧による電界が発生してもよい。
- [0018] 電磁波を反射する反射型でもよい。
- [0019] 第1電極および第2電極の一方は、電磁波を反射する反射層を兼ねてもよい。
- [0020] 電磁波を透過する透過型でもよい。
- [0021] 入射する電磁波を、微細構造体の配列方向に沿う方向に導波する導波路を有しており、導波路内を導波する電磁波の一部を配列方向と交差する方向に出射してもよい。
- [0022] 導波路を画定する壁面の一部に、電磁波を出射する開口部が形成されていてもよい。
- [0023] 導波路を構成する導波路部材は、第1電極または第2電極として機能してもよい。
- [0024] 開口部が微細構造体として機能してもよい。

発明の効果

- [0025] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子によれば、液晶層を用いたメタサーフェス構造体を有する電磁波制御用素子において、周波数が0.1～0.3 THzの電磁波の反射方向を従来よりも短時間で切り替えることができる。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1]電磁波制御用素子の使用例を示す図である。
- [図2]電磁波制御用素子に用いられるメタサーフェス構造体の一例を示す図である。
- [図3]電磁波制御用素子において電磁波の出射方向が変更されるメカニズムを説明する図である。
- [図4]電磁波制御用素子の一例を概念的に示す図である。
- [図5]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの一例を概念的に示す図で

ある。

[図6]印加する電圧と電磁波の位相の遅れ量の関係を示す図である。

[図7]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図8]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図9]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図10]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図11]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図12]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図13]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図14]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図15]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図16]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図17]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図18]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図19]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図20]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図21]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図22]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図23]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図24]電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図25]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの別の例を概念的に示す図である。

[図26]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの別の例を概念的に示す図である。

[図27]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの別の例を概念的に示す図である。

[図28]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの別の例を概念的に示す図である。

[図29]電磁波制御用素子における液晶配向パターンの別の例を概念的に示す図である。

[図30]電磁波制御用素子を使用する漏れ波アンテナを示す図である。

[図31]図30の電磁波制御用素子の一例を概念的に示す平面図である。

[図32]図31の電磁波制御用素子のサブユニットを概念的に示す斜視図である。

[図33]図32のサブユニットの一例を概念的に示す図である。

[図34]図32のサブユニットの別の例を概念的に示す図である。

[図35]図30の電磁波制御用素子の別の例を概念的に示す図である。

[図36]切り替え時間を測定する方法を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0027] 図1に示す電磁波反射装置2には、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10が用いられている。電磁波反射装置2は、建物BLの背後に配置されたアンテナANTから放射される直進性の高い電磁波RWを、アンテナANTから見ると陰となる建物BLの前方のエリアAR1に向けて反射させることが可能である。また、電磁波反射装置2は、複数のエリアAR1とエリアAR2の異なる方向に電磁波RWの反射方向を変化させることが可能である。例えば、無線通信を利用するユーザが日中の時間帯においてはエリアAR1に多く存在し、夜間の時間帯にはエリアAR2に多く存在するというように、ユーザが多く存在するエリアが時間帯によって変化する可能性がある。そのような場合において、電磁波反射装置2は、時間帯に応じて電磁波RWの反射方向を変化させることにより、電磁波RWを供給するエリアを変化させることが可能である。

[0028] 図2に示すように、電磁波制御用素子10は、メタサーフェス構造体12を有しており、電磁波RWの進行方向を所望の方向に反射する反射型の電磁波制御用素子である。メタサーフェス構造体12は、メタマテリアルを利用した構造体である。メタマテリアルは、電磁波に対して負の屈折率を有するなど自然界の物質にはない特性を示す人工物質をいう。電磁波制御用素子1

0は、複数のユニットセルUCが二次元に配列された構成であり、複数のユニットセルUCの配列によって形成される二次元平面が電磁波RWの反射面となる。各ユニットセルUCは、それぞれメタマテリアルとして微細構造体14を含んでおり、反射面において、電磁波RWの位相をアクティブに変化させることが可能な最小単位を構成する。微細構造体14は、一例として金属製である。微細構造体14は、入射する電磁波RWの波長以下のオーダのサイズであり、入射する電磁波RWとの相互作用によって共振する共振器として機能する。微細構造体14は、電氣的には、例えば、コイルとコンデンサとを直列に接続し、交流電流を共振させる共振回路と等価とみなすことができる。微細構造体14の共振作用によって、入射する電磁波RWの位相が変化する。さらに、微細構造体14の共振条件を種々の方法によってアクティブに変化させることにより、電磁波RWの位相の遅れ量の制御も可能となる。

[0029] 電磁波制御用素子10は、周波数が0.1～0.3THzの電磁波RWに作用する。この周波数帯の電磁波RWは、高周波数電波（ミリ波またはテラヘルツ波）などとも呼ばれ、高容量の無線通信が可能である一方、直進性が高い。電磁波制御用素子10において、メタサーフェス構造体12は、周波数が0.1～0.3THzの電磁波RWに対して作用するように構成されている。周波数が0.1～0.3THzの電磁波RWの波長は1～3mmであり、メタサーフェス構造体12を構成する微細構造体14のサイズは、一例として、波長の1/2程度のオーダである。微細構造体14のサイズを電磁波RWの波長以下とすることで、微細構造体14は透過する電磁波RWによって共振し、電磁波RWの位相を変調する位相変調素子として機能する。

[0030] 図3において、入射方向INおよび出射方向OUTで例示するように、電磁波RWの全体的な進行方向は、複数の電磁波RWの波面をつないだ直線に対する法線方向と考えることができる。そして、電磁波制御用素子10において、例えば、二次元に配列された複数のユニットセルUCのそれぞれに入射しかつ反射する電磁波RWの位相の遅れ量を、右方向のユニットセルUC

から左方向のユニットセルUCに向かうにつれて徐々に大きくすることを考える。そうすると、入射する個々の電磁波RWの波面をつないだ直線が反射面と平行な場合でも、各ユニットセルUCで反射した個々の電磁波RWの波面をつないだ直線は反射面に対して傾斜する。すなわち、反射面から出射する電磁波RWの進行方向である出射方向OUTは、電磁波RWの入射方向INに対して角度 θ だけ変化する。このように、ユニットセルUC毎に、位相変調、すなわち、位相の遅れ量の制御を行うことにより、電磁波RWの進行方向を制御することができる。

[0031] その結果、通常の反射板では電磁波RWの進行方向を正反射の方向にしか変化させることができないところ、電磁波反射装置2は、メタサーフェス構造体12を用いることにより、正反射以外の方向に電磁波RWの進行方向を変化させることが可能となる。また、各ユニットセルUCにおける位相の遅れ量をアクティブに変化させることで、電磁波RWの進行方向をアクティブに変化させることが可能となる。

[0032] 一例として図4に概念的に示すように、電磁波制御用素子10は、メタサーフェス構造体12の微細構造体14の共振条件をアクティブに変化させる要素として、液晶層20を用いる。電磁波制御用素子10は、図中下方から、第1電極層26と、液晶層20と、複数の微細構造体14を含むメタサーフェス構造体12とを、この順で有する。液晶層20は、支持体24に設けられている。さらに、第1電極層26は、支持体24の液晶層20とは逆側の面を全面的に覆って設けられる。

[0033] 各ユニットセルUCは、微細構造体14、液晶層20および第1電極層26を含んで構成される。このうち、微細構造体14については、ユニットセルUC毎に個別に設けられている。それ以外の支持体16、液晶層20、支持体24および第1電極層26は、ユニットセルUC毎に独立した構成ではなく、複数のユニットセルUCに対応する領域が一体的に形成されている。

[0034] 電磁波制御用素子10において、第1電極層26と支持体24、および、液晶層20と支持体16とは、必要に応じて、貼着剤（粘着剤または接着剤

）を用いて貼着されている。貼着方法には、制限はなく、電磁波制御用素子 10 が制御対象とする電磁波が透過可能なOCA（Optical Clear Adhesive）を用いる方法など、電磁波制御用素子 10 が制御対象とする電磁波が透過可能な公知の方法が、各種、利用可能である。

[0035] 微細構造体 14 は、一例として導電性の材料で形成されており、第 1 電極層 26 と電極対を構成する電極を兼ねている。また、個々の微細構造体 14 に、微細構造体 14 と第 1 電極層 26 との間に電圧を印加するための電源 28 が接続されている。このため、ユニットセル UC 毎に印加する電圧の大きさを制御することが可能である。第 1 電極層 26 は、各ユニットセル UC に共通の共通電極であり、各ユニットセル UC の微細構造体 14 は、個別電極として機能する。共通電極として機能する第 1 電極層 26 は、本開示の技術に係る「第 1 電極」の一例であり、微細構造体 14 が兼用する個別電極は、「第 2 電極」の一例である。第 2 電極としての微細構造体 14 と、第 1 電極としての第 1 電極層 26 は、「電圧を印加するための電極対」の一例である。

[0036] 電磁波制御用素子 10 は、反射型であり、第 1 電極層 26 は、電磁波 RW を反射する反射層を兼ねる。

[0037] 液晶層 20 は、電圧の印加によって液晶化合物 LC の配向状態（以下において配向パターンともいう）が変化する。各ユニットセル UC の微細構造体 14 の配列方向は、液晶層 20 の厚さ方向（図における Z 方向）と直交する方向（図における X 方向または Y 方向）である。微細構造体 14 と第 1 電極層 26 とは、液晶層 20 の厚さ方向の両側に配置されている。電源 28 から電力を供給することにより、各ユニットセル UC の微細構造体 14 と第 1 電極層 26 との間に電圧が印加される。電圧の印加によって、液晶層 20 の厚さ方向に電界が発生し、各ユニットセル UC の液晶化合物 LC の配向状態が変化する。また、各ユニットセル UC に印加する電圧を調節することにより、各ユニットセル UC の液晶化合物 LC の配向状態を調節することができる。

[0038] 図5に示すように、液晶化合物LCは、断面が長軸と短軸を有する略楕円形状をしている。一例として、電極対として機能する微細構造体14と第1電極層26との間に電圧が印加されていない状態では、液晶層20に電界が生じない。この状態では、図5の上段に概念的に示すように、液晶化合物LCは、長軸が液晶層20の厚さ方向に沿う姿勢に配向されている。以下の説明では、この配向状態を『垂直配向』ともいう。

[0039] この状態から、微細構造体14と第1電極層26との間に電圧を印加すると、液晶層20に電界が発生し、液晶化合物LCの配向状態が変化する。具体的には、図5の下段に概念的に示すように、微細構造体14に対応する領域の液晶化合物LCは、印加された電圧の大きさに応じて、配向状態が変化して、液晶層20の厚さ方向に対して傾斜する。図5の下段に示す例において、液晶化合物LCの傾斜角が最大となった状態を示している。傾斜角が最大の状態では、液晶化合物LCは、長軸が、液晶層20の厚さ方向に対して直交する方向に沿う姿勢に配向される。以下の説明では、傾斜角が最大となった配向状態を『水平配向』ともいう。

[0040] 液晶層20の屈折率は、液晶化合物LCの傾斜が大きいほど、すなわち、液晶化合物LCの長軸が液晶層20の主面方向（図5においてX方向またはY方向）に近い角度であるほど大きい。逆に、液晶化合物LCの傾斜が小さいほど、すなわち、液晶化合物LCの長軸が液晶層20の厚さ方向（図のZ方向）に近い角度であるほど、液晶層20の屈折率は小さい。こうした各ユニットセルUCの液晶層20の屈折率の変化によって、微細構造体14の共振条件が変化し、入射した電磁波RWの位相の遅れ量が変化する。本例においては、図5の下段のユニットセルUCの位相の遅れ量が、図5の上段のユニットセルUCよりも多くなる。

[0041] すなわち、各ユニットセルUCの微細構造体14の周辺に位置する液晶層20において、液晶化合物LCの配向状態が変化すると、各ユニットセルUCを透過する電磁波RWに対する液晶層20の屈折率が変化する。そして、屈折率と誘電率は正の相関を有するため、液晶層20の屈折率の変化によっ

て、共振器として機能する微細構造体 14 の共振条件が変化する。微細構造体 14 の共振条件の変化は、電磁波 RW の位相の遅れ量の変化として現われる。このため、液晶層 20 の屈折率を変化させることにより、電磁波 RW の位相の遅れ量を変化させることができる。また、液晶層 20 の屈折率の変化は、それ自体によっても電磁波 RW の位相の遅れ量の変化を引き起こす。各ユニットセル UC の液晶層 20 の屈折率は、各ユニットセル UC に印加する電圧 V によって変化するため、電圧 V と電磁波 RW の位相の遅れ量の関係は、一例として、図 6 に示すようになる。

[0042] 図 3 で示したとおり、電磁波制御用素子 10 に対して、微細構造体 14 側から電磁波 RW が入射すると、電磁波 RW は、微細構造体 14 および液晶層 20 をこの順に透過する。さらに、電磁波 RW は、反射層を兼ねる第 1 電極層 26 で反射し、再び、液晶層 20 および微細構造体 14 をこの順で透過して、電磁波制御用素子 10 から出射する。このような入出射経路を経て電磁波 RW は反射される。入出射経路において、各ユニットセル UC を透過する電磁波 RW に対しては、微細構造体 14 による共振による位相変調と、液晶層 20 を透過することによる位相変調が生じる。より詳細には、各ユニットセル UC においては、液晶層 20 の屈折率に応じて微細構造体 14 の共振条件が決まり、その条件に応じた共振によって電磁波 RW の位相変調が生じる。加えて、液晶層 20 の屈折率の大きさに応じた電磁波 RW の位相変調も生じる。

[0043] 図 6 に示す関係に基づいて、印加する電圧 V を通じてユニットセル UC 毎に電磁波 RW の位相の遅れ量を制御することにより、電磁波制御用素子 10 において反射する電磁波 RW の反射方向が制御される。

[0044] 図 3 にも示したように、通常の反射板では電磁波 RW の進行方向を正反射の方向にしか変化させることができないところ、電磁波制御用素子 10 では、メタサーフェス構造体 12 を用いることにより、正反射以外の方向に電磁波 RW の進行方向を変化させることが可能となる。また、各ユニットセル UC における位相の遅れ量をアクティブに変化させることで、電磁波 RW の進

行方向をアクティブに変化させることが可能となる。

[0045] さらに、電磁波制御用素子 10 から出射する電磁波 RW の進行方向の制御は、図 3 に示した例のように反射した電磁波 RW が全体として 1 方向に直進するように制御する以外にも、種々の例が考えられる。例えば、電磁波制御用素子 10 から出射する電磁波 RW が、ある 1 つの焦点に向かって集束するようにしてもよいし、その反対に発散するようにしてもよい。出射する電磁波 RW の進行方向の制御は、ユニットセル UC 毎に印加する電圧を調節することにより、ユニットセル UC 毎の電磁波 RW の位相の遅れ量を調節することにより行うことが可能である。

[0046] 例えば、図 3 に示したように 1 方向に配列された複数のユニットセル UC がある場合において、中央のユニットセル UC の位相の遅れ量を大きくし、両側に向かって位相の遅れ量を小さくすることを考える。この場合は各ユニットセル UC を透過する電磁波 RW の波面をつなぐと V 字形状になるため、出射する電磁波 RW を集束させることができる。また、その反対に、中央のユニットセル UC の位相の遅れ量を小さくし、両側に向かって位相の遅れ量を大きくすることを考える。この場合は各ユニットセル UC を透過する電磁波 RW の波面をつなぐと山形（逆 V 字形状）になるため、出射する電磁波 RW を発散させることができる。こうした集束および発散の程度についても、印加する電圧の大きさの調節を通じて、各ユニットセル UC を透過する電磁波 RW の位相の遅れ量を制御することにより調節することができる。

[0047] メタサーフェス構造体 12 は、公知のメタサーフェス構造体と同様、支持体 16 に、メタマテリアルである微細構造体 14 を二次元的に配列してなるものである。図示例のメタサーフェス構造体 12 においては、図 2 で示したように、微細構造体 14 は、互いに直交する X 方向および Y 方向に、等間隔で二次元的に配列されている。また、このメタサーフェス構造体 12 においては、微細構造体 14 は、一例として、全て同じものである。

[0048] 支持体 16 には制限はなく、微細構造体 14 を支持可能で、かつ、電磁波制御用素子 10 が制御対象とする周波数が $0.1 \sim 0.3 \text{ THz}$ の電磁波 R

Wが透過可能であれば、公知の各種のシート状物が利用可能である。支持体16としては、一例として、酸化シリコンを有するシリコン基板などの酸化物絶縁層を有する金属基板、酸化シリコンなどの酸化物からなる支持体、ゲルマニウムおよびカルコゲナイドガラスなどの半導体からなる支持体、ポリメチルメタクリレートなどのポリアクリル系樹脂フィルム、セルローストリアセテート等のセルロース系樹脂フィルム、シクロオレフィンポリマー系フィルム（例えば、商品名「アートン」、J S R社製、商品名「ゼオノア」、日本ゼオン社製）、ポリエチレンテレフタレート（PET）フィルム、ポリカーボネートフィルムおよびポリ塩化ビニルフィルムなどの樹脂フィルム、ならびに、ガラス板等が例示される。

[0049] 支持体16の厚さにも制限はなく、微細構造体14を支持でき、周波数が0.1～0.3THzの電磁波RWに対して十分な透過性が得られ、さらに、電磁波制御用素子10の用途等に応じて十分な強度が得られればよい。このような条件を満たすように、支持体16の厚さは、支持体16の形成材料に応じて、適宜、設定される。

[0050] なお、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10において、メタサーフェス構造体12には、支持体16は必須の構成ではなく、支持体16は無くてもよい。例えば、可能であれば、液晶層20の表面に、直接、微細構造体14を配列して、メタサーフェス構造体12を形成してもよい。

[0051] 上述のとおり、メタサーフェス構造体12は、メタマテリアルである微細構造体14を、離間して、平面上に二次元的に配列してなるものであり、より詳細には、基本的に1個の微細構造体14と、微細構造体14の周囲の空間とを単位とするユニットセルUCの配列によって構成される。

[0052] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子10において、メタサーフェス構造体の形態は、基本的に、公知のメタサーフェス構造体と同様である。従って、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10においては、公知の各種のメタサーフェス構造体を利用可能である。すなわち、本開示の技術において、微細構造体14の形状および形成材料、微細構造体14の配列、ならびに、微

細構造体 14 の間隔であるピッチ等にも、制限はない。また、メタサーフェス構造体 12 は、電磁波制御用素子 10 が制御対象となる電磁波 RW の波長および目標とする反射特性（例えば、制御可能な反射方向の範囲）に応じて、公知の方法で設計すればよい。一例として、用いる微細構造体 14 が反射する電磁波 RW の振幅および位相を市販のシミュレーションソフトを用いて算出し、目的とする位相変調量の分布となるように、微細構造体 14 の配列を設定すればよい。位相変調は、本例のように液晶層 20 を用いる場合は屈折率、さらに屈折率と微細構造体 14 との相互作用によって生じ、位相変調量は、屈折率によって変化する微細構造体 14 の共振特性によって決まる。

[0053] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子 10 は、周波数が 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波 RW を制御対象とするものである。従って、メタサーフェス構造体 12 は、この周波数の電磁波 RW に対して、所望の位相差を与えるように、微細構造体 14 が選択され、さらに、微細構造体の配列等が設定される。具体的には、周波数が 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波 RW を制御対象とする場合は、電磁波 RW の波長範囲は 1 ~ 3 mm 程度なので、微細構造体 14 のサイズも、その波長範囲以下のものが選択される。

[0054] 1 つのユニットセル UC が有する微細構造体 14 の数は、基本的に 1 つであるが、本開示の技術は、これに制限はされない。すなわち、本開示の技術に係る電磁波制御用素子では、反射特性、微細構造体 14 の大きさ、形成材料および形状、ならびに、ユニットセル UC の大きさ等に応じて、必要に応じて、1 つのユニットセル UC が、複数の微細構造体 14 を有してもよい。この際には、1 つのユニットセル UC が、異なる微細構造体 14 を有してもよい。但し、ユニットセル UC は、電磁波 RW の位相をアクティブに変化させることが可能な最小単位であるため、1 つのユニットセル UC が、複数の微細構造体 14 を有する場合でも、位相変調量は、ユニットセル UC 毎に決まる。

[0055] また、微細構造体 14 の形成材料には、制限はなく、公知のメタサーフェス構造体において微細構造体として用いられているものが、各種、利用可能

である。微細構造体 14 の形成材料としては、金属および誘電体が例示される。金属の場合、光学損失が少ない等の点で、銅、金、および、銀が好ましく例示される。また、微細構造体 14 の形成材料としては、金属粒子とバインダとからなる複合体、および、酸化物半導体も利用可能ある。他方、誘電体の場合、屈折率が大きく、位相変調量を大きくすることが可能である等の点を考慮して、シリコン、酸化チタン、および、ゲルマニウムが好ましく例示される。なお、図 4 に示すように、微細構造体 14 が第 1 電極層 26 と電極対を成す電極を兼ねる場合には、微細構造体 14 は導電体で形成する。

[0056] 同様に、微細構造体 14 の形状にも、制限はなく、公知のメタサーフェス構造体において微細構造体として用いられている形状が、各種、利用可能である。一例として、直方体を交差させたような十字状の立体、直方体状、円柱形状、特開 2018-046395 号公報に示されるような直方体を端部で接続したような V 字状の立体、H 鋼のような略 H 字状の立体、および、C チャンネルのような略 C 字状の立体、等が例示される。また、特開 2018-046395 号公報に示されるように、V 字状の立体、および、十字状の立体は、2 つの直方体が成す角度を調節した、様々な形状が利用可能である。これ以外にも、『Appl. Sci. 2018, 8(9), 1689; <https://doi.org/10.3390/app8091689>』の Figure.5 に示されるような底面形状を有する立体等も、利用可能である。

[0057] メタサーフェス構造体 12 において、このような微細構造体 14 は、同じ種類のものを用いてもよく、あるいは、複数種を併用してもよい。また、同じ微細構造体 14 は、XY 平面において同じ向きで配列してもよいし、異なる向きで配列してもよい。また、同じ向きのものと異なる向きのものとが混在してもよい。しかしながら、本開示の技術に係る電磁波制御用素子 10 においては、微細構造体 14 は、1 種のみを用い、かつ、全ての微細構造体 14 を同じ向きで配列するのが好ましい。

[0058] また、図 3 に示したとおり、メタサーフェス構造体 12 は、全て同じ構造を有する同じ微細構造体 14 が、等間隔で、互いに直交する X 方向および Y

方向に二次元的に配列されている態様が好ましい態様である。しかしながら、本開示の技術は、これに制限はされず、上述のように複数種の微細構造体を併用してもよく、また、微細構造体 14 の配列間隔、および、配列も、支持体 16 の面方向で異なってもよい。ただし、液晶層 20 に電圧を印加した際における電磁波 RW の反射方向の制御性等を考慮すると、メタサーフェス構造体 12 は、全て同じ微細構造体 14 を用いるのが好ましい。さらに、メタサーフェス構造体 12 は、微細構造体 14 同士の間隔が、等間隔であることがより好ましく、直交する X 方向および Y 方向の両方向において等間隔であるのがさらに好ましい。

[0059] 液晶層 20 は、液晶化合物 LC を予め設定された状態で配向してなる層であり、前述のように、電圧を印加することによって、液晶化合物 LC の配向状態が変化する。

[0060] 図 4 に例示した液晶層 20 は、電圧が印加されていない状態では、液晶化合物 LC が垂直配向されている。液晶層 20 に電圧が印加されると、液晶化合物 LC は電圧に応じて厚さ方向に対して傾斜して配向され、最大で水平配向となる。なお、電磁波制御用素子 10 において、液晶化合物 LC の配向の変化は、垂直配向から水平配向に変化あるいは逆に制限はされず、厚さ方向に対して傾いた状態から水平配向または垂直配向に変化するものでもよく、水平配向または垂直配向から厚さ方向に対して傾いた状態まで変化するものでもよく、厚さ方向に対して傾いた状態から厚さ方向に対して傾いた状態まで角度が変化するものでもよい。

[0061] また、液晶層 20 は、例えば後述する配向膜の表面に、公知の方法で形成すればよい。

[0062] ここで、本開示の技術に係る電磁波制御用素子 10 において、液晶層 20 は、メチン化合物を含むものである。電磁波制御用素子 10 は、液晶層 20 がメチン化合物を含むことによって、応答性を良好にして、周波数が 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波 RW の反射方向を、短時間で切り替えることができる。以上の点に関しては、後に詳述する。

[0063] 電磁波制御用素子 10 において、液晶層 20 は、支持体 24 に形成される。支持体 24 は、基本的に、上述した支持体 16 と同様のものである。

[0064] ここで、液晶層 20 が形成される支持体 24 は、さらに、上述した支持体 16 を本体として、この本体の液晶層 20 を形成される表面に、液晶化合物 LC を所定の状態に配向するための配向膜を有してもよい。配向膜は、公知の各種のものが利用可能である。一例として、ポリマーなどの有機化合物からなるラビング処理膜、無機化合物の斜方蒸着膜、マイクログループを有する膜、ならびに、ω-トリコサン酸、ジオクタデシルメチルアンモニウムクロライドおよびステアリル酸メチルなどの有機化合物のラングミュア・ブロジェット法による LB (Langmuir-Blodgett: ラングミュア・ブロジェット) 膜を累積させた

膜、等が例示される。また、配向膜としては、光配向性の素材に偏光または非偏光を照射して配向膜とした、いわゆる光配向膜も利用可能である。これらの配向膜は、本体の形成材料に応じた公知の方法で形成すればよい。

[0065] 液晶層 20 を形成する支持体 24 の液晶層 20 とは逆側の面は、全面が第 1 電極層 26 に覆われる。第 1 電極層 26 は、液晶層 20 における液晶化合物 LC の配向を変化させる電極であると共に、上述のように、メタサーフェス構造体 12 側から入射した、周波数が 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波 RW を反射する反射層としても作用する。

[0066] 第 1 電極層 26 には、制限はなく、十分な導電性を有し、かつ、周波数 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波を反射可能であれば、公知の各種の材料からなるシート状物が利用可能である。第 1 電極層 26 としては、一例として、銅、アルミニウム、金および銀などの金属層、ITO (鉛ドーパ酸化インジウム) などの無機導電材料、PEDOT (ポリ 3,4-エチレンジオキチオフェン) を代表とするポリチオフェンなどの有機導電材料、ならびに、グラフェン等が例示される。無機導電材料、有機導電材料およびグラフェン等は、可視光に対しては透明であるが、上記周波数の電磁波に対しては、反射層として作用する。

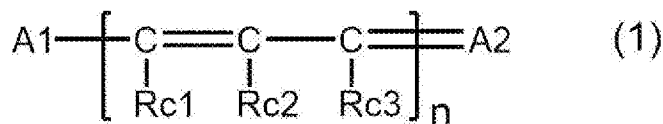
- [0067] 第1電極層26の厚さにも制限はなく、第1電極層26の形成材料に応じて、制御対象となる電磁波を必要な反射率で反射できる厚さを、適宜、設定すればよい。
- [0068] 上述のように、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10は、メタサーフェス構造体12と液晶層20とを有する反射型の電磁波制御用素子である。電磁波制御用素子10においては、各微細構造体14に電力を供給して、液晶層20の対応する領域における液晶化合物LCの配向状態を変更することにより、ユニットセルUC毎に屈折率の異なる領域を形成することで、周波数が0.1〜0.3THzの電磁波RWを、所望の方向に反射する。また、各微細構造体14に供給する電力、すなわち、液晶層20に印加する電圧を変更することで、入射した電磁波RWの反射方向を切り替えることができる。
- [0069] ここで、上述のように、非特許文献に示されるような従来のメタサーフェス構造体と液晶層とを用いる電磁波制御用素子は、電磁波RWの反射方向の切り替えに時間がかかる。これに対し、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10は、液晶層20がメチン化合物を含むことにより、好ましくは液晶層20がメチン構造を有する液晶化合物を含むことにより、より好ましくは液晶層20を、メチン構造を有する液晶化合物で形成することにより、高い応答性を確保して、入射した電磁波RWの反射方向の切り替えを短時間で行うことができる。
- [0070] すなわち、本開示の技術においては、液晶層20がメチン化合物を含むことにより、液晶層20における屈折率の異方性（複屈折性ともいう）の指標である Δn を大きくすることができる。 Δn は、液晶層20において液晶化合物LCの姿勢が垂直方向の場合の屈折率と水平方向の場合の屈折率の差である。メチン化合物を含むことにより、 Δn を大きくすることができるため、本開示の技術においては、必要な屈折率すなわち必要な位相差を電磁波RWに与えるために必要な液晶層20の厚さを、薄くできる。液晶層20を薄くすることで、印加した電圧を変更した際に、液晶化合物LCの配向が、迅

速に変化する。その結果、本開示の技術に係る電磁波制御用素子 10 によれば、液晶層 20 に印加した電圧の変化に対する応答速度を速くして、入射した電磁波 RW の反射方向の切り替えを短時間で行うことが可能になる。

[0071] メチン化合物としては、メチン構造 ($-C(Rc1)=C(Rc2)-C(Rc3)=$) を含む化合物であれば、特に制限されない。ここで Rc1 ~ Rc3 はそれぞれ独立に、水素原子または置換基を表し、Rc1 ~ Rc3 は結合して環構造を形成してもよい。メチン化合物が有するメチン構造の数は特に制限されず、1 以上であればよく、2 以上が好ましい。メチン構造の数の上限は特に制限されないが、7 以下の場合が多く、5 以下の場合が多い。メチン化合物は、液晶性を示す化合物であってもよいし、液晶性を示さない化合物であってもよく、液晶性を示す化合物であることが好ましい。つまり、メチン化合物は、メチン構造を有する液晶化合物であることが好ましい。

[0072] メチン化合物としては、式 (1) で表される化合物が好ましい。

[0073] [化1]



[0074] 式 (1) 中、Rc1 ~ Rc3 はそれぞれ独立に水素原子又は置換基を表し、Rc1 ~ Rc3 は結合して環構造を形成してもよい。

[0075] n は 1 ~ 7 の整数を表し、n が 2 以上の時、Rc1 ~ Rc3 は同一であっても異なってもよい。n は 1 ~ 5 が好ましく、1 ~ 4 がさらに好ましい。

[0076] A1 及び A2 はそれぞれ独立に置換基を有してもよい環構造を表し、A1 (とその置換基) と Rc1、A2 (とその置換基) と Rc3、は結合して環構造を形成してもよい。環構造は単環であっても、2 環以上の縮環であってもよく、複数の単環が単結合で結合した環 (例えば、ビフェニル環、ターフェニル環) であってもよい。上記環構造としては、炭化水素環また芳香環、ヘテロ環が挙げられ、ヘテロ環は炭化水素環また芳香環縮合環を形成してもよい。ヘテロ環のヘテロ原子としては、N 原子、O 原子、S 原子

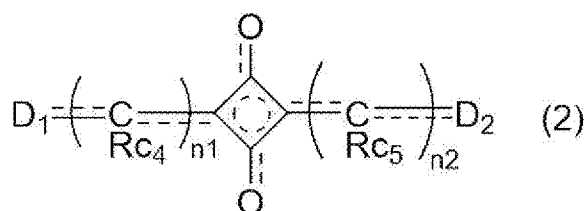
が好ましい。ヘテロ環としては、ピリジン環、ピペリジン環、フラン環、フルフラン環、チオフェン環、ピロール環、キノリン環、モルホリン環、インドール環、イミダゾール環、ピラゾール環、カルバゾール環、フェノチアジン環、フェノキサジン環、インドリン環、トリアジン環、ピロリドン環、チアゾール環、ピラジン環、チアジアジン環、ベンゾキノリン環及びチアジアゾール環、チエノチアゾール環、等が挙げられる。

A 1 及び A 2 が有する置換基としては、アルキル基、アルケニル基、アラルキル基、アリール基、ヘテロ環基、ハロゲン原子、シアノ基、ニトロ基、メルカプト基、ヒドロキシ基、アミノ基、アミド基、アルコキシ基、アリールオキシ基、アルキルチオ基、アリールチオ基、アシルオキシ基、アミノ基、アルキルアミノ基、ジアルキルアミノ基、カルボンアミド基、スルホンアミド基、スルファモイルアミノ基、オキシカルボニルアミノ基、オキシスルホニルアミノ基、ウレイド基、チオウレイド基、アシル基、オキシカルボニル基、カルバモイル基、スルホニル基、スルフィニル基、スルファモイル基、カルボキシ基（塩を含む）、スルホ基（塩を含む）、および、これらの基を組み合わせた基が挙げられる。これらの基は、さらにこれらの基で置換されていてもよい。

[0077] 上記メチン化合物は、シアニン化合物、スクアリリウム化合物、オキソノール化合物、メロシアニン化合物、ヘミシアニン化合物、ストレプトシアニン化合物、であってもよい。特にスクアリリウム化合物、およびメロシアニン化合物がより好ましい。

[0078] スクアリリウム化合物としては、下記一般式（2）で表される化合物が好ましい。

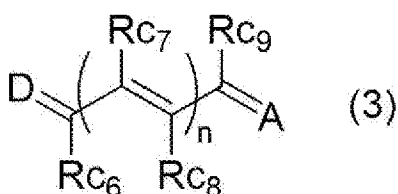
[0079] [化2]



[0080] ここで、D 1 および D 2 はそれぞれ独立に、置換もしくは無置換の、炭化水素環又は複素環基を表す。R c 4 および R c 5 はそれぞれ独立に、水素原子もしくは置換基を表し、n 1 および n 2 はそれぞれ独立に、0 から 4 までの整数を表し、R c 4 もしくは R c 5 が複数ある場合は、それぞれ同じでも異なってもよく、複数ある R c 4 同士、R c 5 同士、R c 4 と D 1 もしくは R c 5 と D 2 が環を形成していてもよい。なお、スクアリリウム化合物は、分子内部に双性イオン構造を有するが、カチオン原子、アニオン原子、単結合および二重結合の表記は複数の互変異性体構造を取る。従って、上記一般式（2）における結合種および電荷構造は明示されていない。

[0081] メロシアニン化合物としては、下記一般式（3）で表される化合物が好ましい。

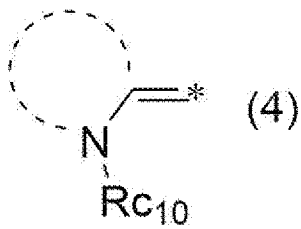
[0082] [化3]



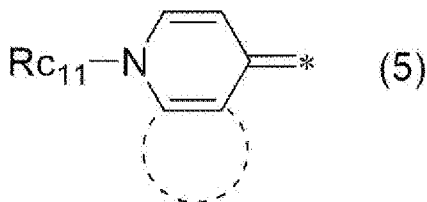
[0083] ここで、D は、置換もしくは無置換の、ドナー性の環構造を表し、A は、置換もしくは無置換の、アクセプター性の環構造を表す。R c 6 ~ R c 9 は水素原子もしくは置換基を表し、n は、0 から 4 までの整数を表し、R c 7 もしくは R c 8 が複数ある場合は、それぞれ同じでも異なってもよく、複数ある R c 7 同士、R c 8 同士、R c 6 と D もしくは R c 9 と A が環を形成していてもよい。D の好ましい構造としては、下記一般式（4）で表される、置換基を有していてもよい、置換窒素原子を含む 5 員環、もしくは下記一般式（5）で表される、置換基を有していてもよい、置換窒素原子を含む 6 員環が挙げられる。

[0084]

[化4]

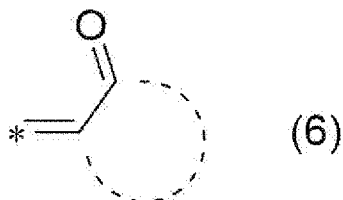


[0085] [化5]



[0086] ここで、一般式（４）における R_{c10} は、置換基を有していてもよい、炭素数１～１０のアルキル基を表す。また、一般式（４）の５員環は、別の環と縮環構造を形成していてもよい。一般式（５）における R_{c11} は、置換基を有していてもよい、炭素数１～１０のアルキル基を表し、点線で表される縮環した環構造を有していてもよい。Ａの好ましい構造としては、下記一般式（６）で表される、置換基を有していてもよい、カルボニル炭素を含む５員環、もしくは６員環が挙げられる。

[0087] [化6]



[0088] ここで、一般式（６）の環構造は、別の環と縮環構造を形成していてもよい。一般式（４）、（５）および（６）の具体的な構造としては、「The theory of the photographic process 第４版（Ｔ．Ｈ．Ｊames 著）」に１９４～２３４頁に記載のものが挙げられる。

[0089] 本開示の液晶組成物は、さらにメチン化合物以外の液晶化合物を含有していてもよい。メチン化合物以外の液晶化合物は、電磁波制御用素子として用

いるための諸物性を調整するために、公知のものを最適に用いることができる。用いられる液晶化合物としては、特に制限はないが、メチン化合物を含む液晶組成物としての Δn を大きくするという観点から、高い Δn を有していることが好ましい。さらに、 Δn は、0.20以上が好ましく、0.25以上がより好ましく、0.30以上が最も好ましい。

[0090] 液晶組成物中におけるメチン化合物の含率については、特に制限はないが、 Δn をより大きくするという観点から、3%以上が好ましく、5%以上がより好ましく、10%以上が最も好ましい。

[0091] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子10において、液晶層20の Δn には、制限はないが、大きい方が好ましい。ここで、本例の反射型の電磁波制御用素子10においては、液晶層20の Δn は、0.35以上が好ましい。液晶層20の Δn を0.35以上とすることにより、液晶層20を薄くして、より迅速に電磁波RWの反射方向の切り替えを行うことができる等の点で好ましい。

[0092] また、液晶層20の厚さにも制限はなく、液晶層20の形成材料に応じて、電磁波RWに必要な位相差を与えられる厚さを、適宜、設定すればよい。ここで、上述のように、本開示の技術に係る電磁波制御用素子10は、液晶層20がメチン化合物を含むので、液晶層20を薄くできる。この点を考慮すると、液晶層20の厚さは、200 μm 以下が好ましく、150 μm 以下がより好ましく、100 μm 以下がさらに好ましい。液晶層20の厚さを200 μm 以下とすることにより、より迅速に電磁波RWの反射方向の切り替えを行うことができる等の点で好ましい。

[0093] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子において、反射型の電磁波制御用素子は図4に示される構成に制限はされず、各種の構成が例示可能である。例えば、図4に示す電磁波制御用素子10は、メタサーフェス構造体12を構成する微細構造体14が電極としても作用していた。しかしながら、本開示の技術は、これに制限はされず、微細構造体14に対応して、第1電極層26と電極対を構成する第2電極30（図7など参照）を設けてもよい。すな

わち、微細構造体 14 とは独立した要素として、第 1 電極の一例である第 1 電極層 26 と第 2 電極 30 とを有していてもよい。第 2 電極 30 は、第 1 電極層 26 と同様の材料で形成すればよい。なお、以下に示す例では図示は省略するが、各電極あるいは電極を兼ねる微細構造体 14 には、図 4 に示す例と同様に電源 28 が接続される。

[0094] この構成としては、例えば、図 7 に概念的に示すように、微細構造体 14 の上に、第 2 電極 30 を設けた構成が例示される。あるいは、図 8 に概念的に示すように、第 2 電極 30 を微細構造体 14 と支持体 16 との間に設けてもよい。さらに、図 9 に概念的に示すように、図 4 に示す構成において第 1 電極層 26 をパターニングしてパターン電極とし、微細構造体 14 に対応する領域のみに設ける構成も利用可能である。この構成では、第 1 電極層 26 の無い領域に入射した電磁波 RW は、透過する。

[0095] また、本開示の技術に係る電磁波制御用素子において、反射型の電磁波制御用素子は、液晶層 20 に隣接して微細構造体 14 を設け、層状の電極の間にメタサーフェス構造体 12 を設けてもよい。例えば、図 10 に概念的に示すように、微細構造体 14 を支持体 16 の液晶層 20 側に設け、さらに、支持体 16 の液晶層 20 とは逆側に、第 1 電極層 26 のような層状、すなわち複数のユニットセル UC に共用される共通電極である第 2 電極 30 を設けてもよい。この構成においては、第 2 電極 30 は複数の開口部を有するようにパターニングしてパターン電極とし、第 2 電極 30 を電磁波 RW が透過できるようにする。この構成においては、図 11 に概念的に示すように、支持体 24 にも微細構造体 14 を配列して、液晶層 20 の両面にメタサーフェス構造体 12 を設けてもよい。

[0096] 以上において説明した本開示の技術に係る電磁波制御用素子は、周波数が $0.1 \sim 0.3 \text{ THz}$ の電磁波 RW が入射した場合に、入射した電磁波 RW を反射して所望の方向に進行させる、反射型の電磁波制御用素子であるが、本開示の技術は、これに制限はされない。すなわち、本開示の技術に係る電磁波制御用素子は、周波数が $0.1 \sim 0.3 \text{ THz}$ の電磁波 RW を屈折して

透過することにより所望の方向に進行させる、透過型の電磁波制御用素子であってもよい。以下の説明では、特に注釈が無い場合には、電磁波RWとは、周波数が0.1～0.3THzの電磁波を示す。

[0097] 図12に透過型の電磁波制御用素子の一例を概念的に示す。なお、以下に示す本開示の技術に係る透過型の電磁波制御用素子は、反射層となる第1電極層26を有さない以外は、基本的に、上述した反射型の電磁波制御用素子と同様であり、また、各部材の作用も同様である。従って、同じ部材には同じ付与号を付し、説明は、異なる部位を主に行う。

[0098] 図12に示す透過型の電磁波制御用素子36は、第1電極層26を有さない以外は、図4に示す反射型の電磁波制御用素子10と同様の構成を有する。すなわち、電磁波制御用素子36は、メタサーフェス構造体12と、液晶層20とを有する。メタサーフェス構造体12は、支持体16に共振器となる微細構造体14を二次元的に配列してなるものであり、液晶層20は、支持体24に形成される。ここで、図12に示す電磁波制御用素子36は、微細構造体14が第1電極および第2電極を兼ねる。すなわち、電磁波制御用素子36においては、隣接する微細構造体14を接続して、電源28が設けられる。

[0099] この電磁波制御用素子36においては、電源28から微細構造体14に電力を供給することにより、隣接する微細構造体14の間の液晶層20に面方向の電圧が印加される。面方向とは、液晶層20の厚さ方向と交差する方向である。その結果、印加された電圧に応じて、この領域の液晶層20における液晶化合物LCの配向状態が変化して、屈折率が変化する。また、各微細構造体14に供給する電力すなわち対応する領域に印加する電圧を変えることにより、面方向に屈折率が異なる領域を形成できる。

[0100] 電磁波制御用素子10と同様、電磁波制御用素子36に電磁波RWが入射すると、電磁波RWは、メタサーフェス構造体12を透過する際に微細構造体14による共振で位相を変調され、さらに、液晶層20を透過することで位相を変調される。電磁波制御用素子36は、反射層となる第1電極層26

を有さないので、電磁波RWは液晶層20を透過して、電磁波制御用素子36から出射される。ここで、上述のように、液晶層20は面方向に異なる屈折率を有するので、液晶層20を透過する電磁波RWに与えられる位相差は、面方向の各領域によって異なる。そのため、電磁波RWは、入射領域に応じて与えられた位相差に応じて見掛け上の光路長が異なり、光路長が長い領域を透過した電磁波RWは、光路長が短い領域に透過した電磁波RWよりも、遅く液晶層20から出射する。その結果、電磁波制御用素子36に入射して透過した電磁波RWは、直線的に透過するのではなく、波面を揃えるように屈折されて透過する。例えば、法線方向から入射した電磁波RWは、法線方向に透過するのではなく、法線に対して傾いた方向に透過される。

[0101] また、各微細構造体14に供給する電力すなわち液晶層20に印加する電圧を変更することにより、透過する電磁波RWの屈折率、すなわち、電磁波RWの出射方向を切り替えることができる。さらに、液晶層20に印加する電圧を調節することで、透過する電磁波RWを集束あるいは発散してもよく、さらに、透過する電磁波RWの集束および発散の程度を切り替えることも可能である。ここで、電磁波制御用素子36においても、液晶層20がメチン化合物を含むので、屈折率の切り替え、すなわち透過する電磁波RWの進行方向の切り替えを迅速に行うことができる。

[0102] 本開示の技術に係る透過型の電磁波制御用素子36において、液晶層20の Δn には、制限はないが、大きい方が好ましい。ここで、図示例のような透過型に電磁波制御用素子36において、液晶層20の Δn は、0.2以上が好ましく、0.3以上がより好ましく、0.4以上がさらに好ましい。電磁波制御用素子36においては、液晶層20の Δn を0.2以上とすることにより、液晶層20を薄くして、より迅速に電磁波RWの透過方向の切り替えを行うことができる等の点で好ましい。

[0103] また、液晶層20の厚さにも制限はなく、液晶層20の形成材料に応じて、電磁波RWに必要な位相差を与えられる厚さを、適宜、設定すればよい。ここで、上述のように、透過型の電磁波制御用素子36においても、液晶層

20がメチン化合物を含むので、液晶層20を薄くできる。また、本開示の技術において、対象とする電磁波RWは、周波数が0.1~0.3THzの電磁波、すなわち、波長が1~3mmの電磁波である。この点を考慮すると、透過型の電磁波制御用素子36において液晶層20の厚さは、500 μ m以下が好ましく、300 μ m以下がより好ましく、200 μ m以下がさらに好ましい。液晶層20の厚さを500 μ m以下とすることにより、より迅速に電磁波RWの透過方向の切り替えを行うことができる等の点で好ましい。

[0104] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子において、透過型の電磁波制御用素子は、図12に示す電磁波制御用素子36に制限はされず、各種の構成が例示可能である。なお、以下に示す例では図示は省略するが、各電極あるいは電極を兼ねる微細構造体14には、図12に示す例と同様に電源28が接続される。例えば、図12に示す電磁波制御用素子36は、メタサーフェス構造体12を構成する微細構造体14が電極としても作用していた。しかしながら、本開示の技術は、これに制限はされず、微細構造体14に対応して、第1電極32および第2電極30を設けてもよい。この構成としては、一例として、図13に概念的に示すように、隣接する2つの微細構造体14において、一方の微細構造体14の上に第1電極32を設け、他方の微細構造体14の上に第2電極30を設けた構成が例示される。あるいは、図14に概念的に示すように、隣接する2つの微細構造体14において、一方の微細構造体14と支持体16との間に第1電極32を設け、他方の微細構造体14と支持体16との間に第2電極30を設けてもよい。

[0105] 透過型の電磁波制御用素子は、複数のメタサーフェス構造体を有してもよい。例えば、図15に示すように、図12に示す電磁波制御用素子36において、支持体24の液晶層20とは逆側の面に微細構造体14を配列して、メタサーフェス構造体12としてもよい。本例においては、一例として、液晶層20を挟んで対面する微細構造体14を電極対、すなわち、第1電極および第2電極として作用させる。図15に示す構成においても、微細構造体14に対応して、第1電極32および第2電極30を設けてもよい。この構

成としては、一例として、図 16 に概念的に示すように、液晶層 20 を挟んで対面している電極対を構成する 2 つの微細構造体 14 において、一方の微細構造体 14 の表面に第 1 電極 32 を設け、他方の微細構造体 14 の表面に第 2 電極 30 を設けた構成が例示される。あるいは、図 17 に概念的に示すように、液晶層 20 を挟んで対面している電極対を構成する 2 つの微細構造体 14 において、一方の微細構造体 14 と支持体 24 との間に第 1 電極 32 を設け、他方の微細構造体 14 と支持体 16 との間に第 2 電極 30 を設けてもよい。

[0106] 複数のメタサーフェス構造体を有する透過型の電磁波制御用素子は、図 18 に概念的に示すように、メタサーフェス構造体 12 を構成する微細構造体 14 が、面方向にズレて配置したものでもよい。この構成においても、図 15 に示す例と同様、一例として、液晶層 20 を挟んで対面する微細構造体 14 を電極対、すなわち、第 1 電極および第 2 電極として作用させる。また、図 18 に示す構成においても、微細構造体 14 に対応して、第 1 電極 32 および第 2 電極 30 を設けてもよい。この構成としては、一例として、図 19 に概念的に示すように、液晶層 20 を挟んで対面している電極対を構成する 2 つの微細構造体 14 において、一方の微細構造体 14 の表面に第 1 電極 32 を設け、他方の微細構造体 14 の表面に第 2 電極 30 を設けた構成が例示される。あるいは、図 20 に概念的に示すように、液晶層 20 を挟んで対面している電極対を構成する 2 つの微細構造体 14 において、一方の微細構造体 14 と支持体 24 との間に第 1 電極 32 を設け、他方の微細構造体 14 と支持体 16 との間に第 2 電極 30 を設けてもよい。

[0107] さらに、図 21 に概念的に示すように、透過型の電磁波制御用素子においても、上述した反射型の電磁波制御用素子と同様、支持体 24 の液晶層 20 とは逆側の面を全面的に覆って第 1 電極層 26A を設け、微細構造体 14 と第 1 電極層 26A とで電極対を構成してもよい。ただし、この場合には、第 1 電極層 26A は、複数の開口部を有するようにパターンニングしたパターン電極として、電磁波 RW が透過できるようにする。さらに、図 21 に示すよ

うな第1電極層26Aを有する構成でも、微細構造体14を電極として兼用するのではなく、図22に概念的に示すように、微細構造体14の上に第2電極30を設けて、第1電極層26Aと第2電極30とで電極対を構成してもよい。

[0108] さらに、透過型の電磁波制御用素子は、支持体の表面に微細構造体14を配列するのではなく、図23に概念的に示すように、電磁波制御用素子を厚さ方向に貫通して微細構造体14を設けてもよい。なお、この構成においても、上述した各例と同様、微細構造体14が電極を兼ねてもよく、あるいは、各微細構造体14に対応して第1電極および／または第2電極を配置してもよい。あるいは、図23に示す構成において、図24に示すように、支持体24の液晶層20とは逆側に誘電体層34を設け、誘電体層34の支持体24とは逆側に、電磁波RWが透過する複数の開口部を有するようにパターンニングした第1電極層26Aを設けてもよい。

[0109] 以上の例では、液晶層20における液晶化合物LCの配向パターンは、電圧が印加されていない状態では、液晶化合物LCが垂直配向されており、電圧が印加されると、印加された電圧に応じて厚さ方向に対する角度が大きくなり、最終的に水平配向となる液晶配向パターンである。しかしながら、本開示の技術は、これに制限はされず、各種の液晶配向パターンが利用可能である。以下に、一例を示す。なお、以下に示す例では、図5と同様、作用を簡潔にするために、液晶層20と、微細構造体14および第1電極層26とのみを示す。また、以下に示す例では、一例として、電極として、微細構造体14および第1電極層26を例示しているが、本開示の技術は、これに制限はされず、図4、図7～図24に示す、全ての構成で、以下に示す液晶配向パターンが利用可能である。この点に関しては、図5も同様である。

[0110] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子において、液晶層20の液晶配向パターンとしては、図25に概念的に示すように、電圧が印加されていない状態では液晶化合物LCが水平配向されており、電圧が印加されると、印加された電圧に応じて液晶層20の面方向に対する角度が大きくなり、最終的に

垂直配向となる液晶配向パターンも利用可能である。また、液晶層 20 の液晶配向パターンとしては、図 26 に概念的に示すように、電圧が印加されていない状態では液晶化合物 LC が水平配向で、かつ、厚さ方向に螺旋状に捩れ配向されており、電圧が印加されると、印加された電圧に応じて液晶層 20 の主面に対する角度が大きくなり、最終的に垂直配向となる液晶配向パターンも利用可能である。さらに、液晶層 20 の液晶配向パターンとしては、図 27 に概念的に示すように、液晶化合物 LC の配向が、厚さ方向に水平配向から垂直配向に変化するハイブリット配向も利用可能である。この液晶配向パターンの場合には、一例として、図 27 に示すように、電圧が印加されていない状態から、電圧が印加された場合には、印加された電圧に応じて、液晶化合物 LC の配向が垂直配向に近くなる構成が例示される。

[0111] また、本開示の技術に係る電磁波制御用素子では、図 12～図 14 に示すように、液晶層 20 の厚さ方向と交差する方向) に電圧を印加してもよい。この構成においては、図 28 に概念的に示すように、電圧が印加されていない状態では、液晶化合物 LC が長手方向を紙面に垂直な方向に一致して水平配向されており、電圧が印加されると、印加された電圧に応じて面方向に回転して、最終的に長手方向を図中横方向に一致して水平配向される液晶配向パターンも利用可能である。あるいは、逆に、図 29 に概念的に示すように、電圧が印加されていない状態では、液晶化合物 LC が長手方向を図中横方向に一致して水平配向されており、電圧が印加されると、印加された電圧に応じて面方向に回転して、最終的に長手方向を紙面と垂直方向に一致して水平配向される液晶配向パターンも利用可能である。

[0112] 本開示の技術に係る電磁波制御用素子が制御対象とする電磁波 RW の偏光状態（すなわち偏波状態）には、制限はなく、無偏光でも、直線偏光でも、円偏光でも、楕円偏光でもよい。なお、電磁波 RW が直線偏光である場合で、かつ、微細構造体 14 が直交する X 方向および Y 方向に二次元的に配列されている場合には、電磁波 RW の偏光方向と、X 方向また Y 方向とが一致するように、電磁波 RW を入射させるのが好ましい。

- [0113] 上記実施形態において、電磁波制御用素子のタイプとして、図4に一例を示した反射型の電磁波制御用素子10と、図12に一例を示した透過型の電磁波制御用素子36の2つのタイプを示した。また、これらの各タイプの電磁波制御用素子を、電磁波反射装置2の構成要素として用いる例を示した。電磁波制御用素子の用途は、上記の用途に制限されず、上記以外の用途でもよい。上記以外の用途としては、例えば、電磁波RWを導波する導波路と組み合わせることにより、いわゆる漏れ波アンテナの構成要素として用いることが可能である。
- [0114] 一例として図30に示すように、電磁波制御用素子110は、漏れ波アンテナ100に組み込まれている。電磁波制御用素子110は、電磁波RWの進行方向を制御する機能を有する点において電磁波制御用素子10と同様である。また、電磁波制御用素子110において、電磁波制御用素子10と同一の構成については、同一の符号を付して説明を省略する。
- [0115] 漏れ波アンテナ100は、図1に示すアンテナANTと同様に、電磁波RWを送出する。漏れ波アンテナ100は、例えば、ある時間帯においてはエリアAR1に向けて電磁波RWを出射し、別の時間帯ではエリアAR2に向けて電磁波RWを出射するというように、電磁波RWの出射方向を変更することが可能である。
- [0116] 一例として図31に示すように、電磁波制御用素子110は、複数のサブユニット110Aと、複数の電磁波発生源112とによって構成される。複数のサブユニット110Aは、直方体形状をしており、各サブユニット110Aは、長手方向と直交する方向に配列されている。複数の電磁波発生源112は、各サブユニット110Aに1つずつ割り当てられている。
- [0117] 一例として図32および図33に示すように、サブユニット110Aは、複数の微細構造体14が一次元に配列されたメタサーフェス構造体12と、導波路部材120とによって構成され、全体として直方体形状をしている。導波路部材120は、長手方向が微細構造体14の配列方向に沿う姿勢で設けられている。導波路部材120は、支持体24において液晶層20とは反

対側の一面と接するように配設されている。導波路部材 120 は、例えば、断面が矩形状の角筒状の管状部材である。導波路部材 120 の内壁によって画定される内部空間が電磁波 RW を導波する導波路 120A を構成する。

[0118] 導波路部材 120 の一端側には、電磁波発生源 112 が配置されており、電磁波発生源 112 は導波路 120A 内に電磁波 RW を送出する。導波路 120A は、電磁波発生源 112 から送出され、導波路 120A に入射する電磁波 RW を、微細構造体 14 の配列方向に沿う方向に導波する。電磁波 RW は、導波路 120A 内において、導波路部材 120 の内壁で反射しながら伝搬する。導波路部材 120 において、支持体 24 と対面する壁面の一部には、微細構造体 14 の配列方向と交差する方向に電磁波 RW を出射する開口部 121 が形成されている。開口部 121 は、複数の微細構造体 14 のそれぞれの位置に対応して形成されている。本例の開口部 121 は、微細構造体 14 が配列される配列面である XY 面の法線方向である Z 方向に電磁波 RW を出射する。

[0119] 電磁波制御用素子 110 においては、少なくとも 1 つの微細構造体 14 と開口部 121 とを含むようにユニットセル UC が構成されている。そして、第 1 電極および第 2 電極の電極対を、微細構造体 14 および導波路部材 120 が兼ねる。各ユニットセル UC に電圧を印加することにより液晶層 20 の厚さ方向に電界を発生させる。そして、電磁波制御用素子 110 は、図 4 に示した電磁波制御用素子 10 と同様に、ユニットセル UC 毎に印加する電圧を制御することにより、電磁波 RW の位相の遅れ量を制御することが可能である。これにより、開口部 121 から出射し、液晶層 20 および微細構造体 14 を透過する電磁波 RW の出射方向を制御することができる。

[0120] 液晶層 20 は、上記のとおり、従来よりも応答性が高いため、電磁波制御用素子 110 も、周波数が 0.1 ~ 0.3 THz の電磁波 RW の出射方向を従来よりも短時間で切り替えることができる。

[0121] 図 33 の例では、微細構造体 14 が開口部 121 とは別に設けられている例で説明したが、図 34 に示すように、開口部 121 を微細構造体として機

能させてもよい。つまり、開口部 121 自体を、電磁波 RW に対して位相の遅れを生じさせる共振器として機能させてもよい。開口部 121 も、電磁波 RW の波長範囲以下のサイズで形成し、形状等を工夫

することにより共振器として機能させることができる。そして、開口部 121 の共振条件を、液晶層 20 の屈折率の変化によって制御することで、ユニットセル UC 毎に電磁波 RW の位相の遅れ量を制御することが可能である。

[0122] この場合は、一例として、支持体 24 と液晶層 20 との間に、ユニットセル UC 毎に第 1 電極 32 および第 2 電極 30 の電極対を設ける。そして、これらの電極対に電圧を印加することで、液晶層 20 の厚さ方向と交差する方向に電界を発生させることにより、ユニットセル UC 毎に液晶層 20 の屈折率を変化させる。

[0123] また、図 32 および図 33 に示したように、電磁波制御用素子 110 を、直方体形状のサブユニット 110A で構成した例で説明したが、図 32 および図 33 に示す構成以外でもよい。例えば、図 35 に示すように、1 つの電磁波発生源 112 を中心に、放射状にメタサーフェス構造体 12 を配置することにより、電磁波制御用素子 110 を構成してもよい。この例では、電磁波発生源 112 は、放射状に電磁波 RW を発生する。そして、複数の微細構造体 14 が配列したメタサーフェス構造体 12 に対応して、図示しない導波路部材が設けられている。図 32 に示したように、導波路部材には、導波路を伝搬する電磁波 RW の一部を微細構造体 14 の配列方向と交差する方向に出射する開口部が設けられている。これにより、電磁波 RW が出射する。

[0124] 漏れ波アンテナ 100 に使用する電磁波制御用素子 110 についても、反射型または透過型の電磁波制御用素子 10 について示した図 7 ～図 29 の種々の変形例について、適用可能なものについては適宜組み合わせてもよい。

実施例

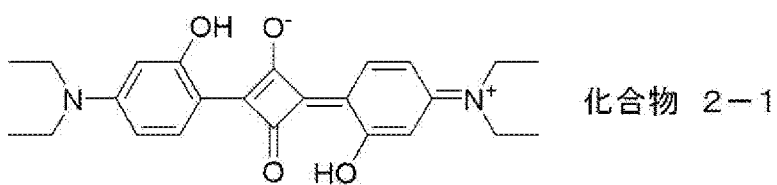
[0125] (液晶組成物 1 の調製)

下記組成にて、液晶組成物 1 を調製した。

化合物 2-1 10.00 質量部

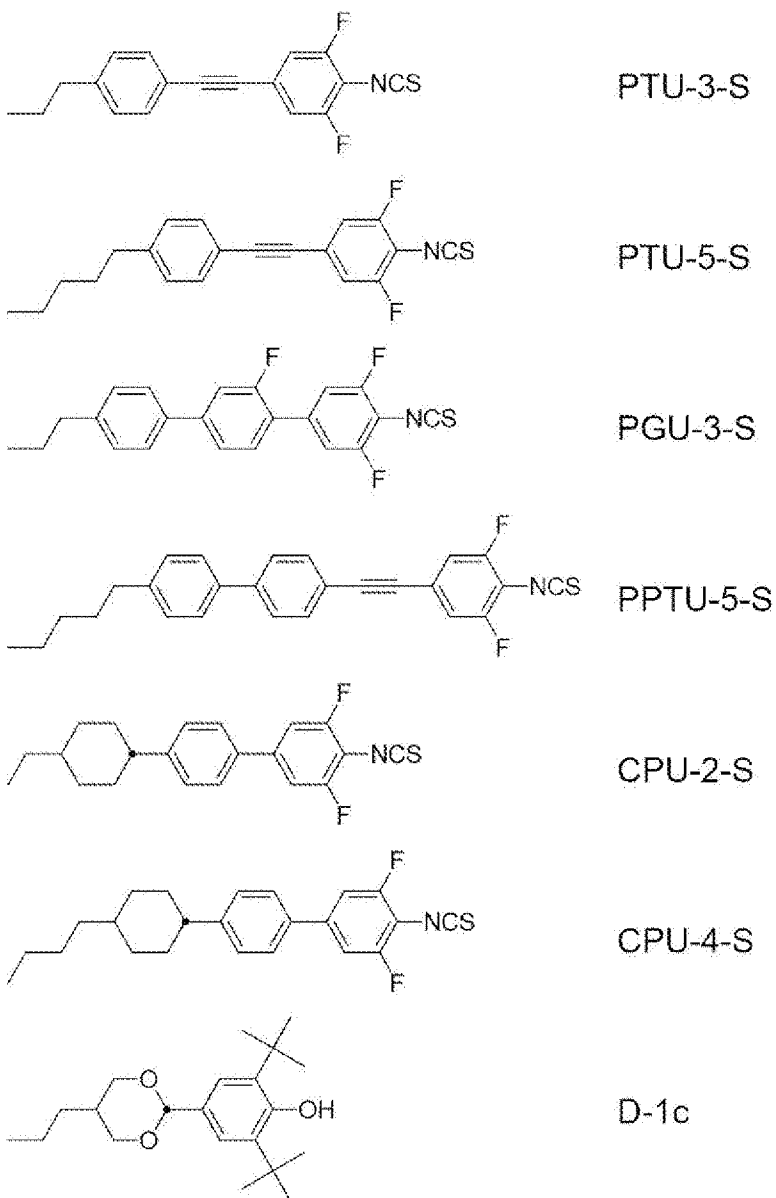
P T U - 3 - S	1 3 . 4 8 質量部
P T U - 5 - S	1 3 . 4 8 質量部
P G U - 3 - S	1 3 . 4 8 質量部
P P T U - 5 - S	8 . 9 9 質量部
C P U - 2 - S	2 5 . 1 8 質量部
C P U - 4 - S	1 5 . 2 8 質量部
D - 1 c	0 . 1 1 質量部

[0126] [化7]



[0127]

[化8]

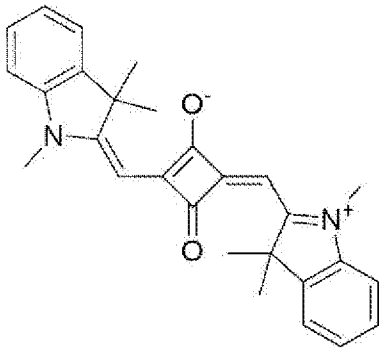


[0128] (液晶組成物 2 の調製)

液晶組成物 1 の化合物 2-1 の代わりに、下記化合物 2-2 を用いた以外は同様に、液晶組成物 2 を調製した。

[0129]

[化9]

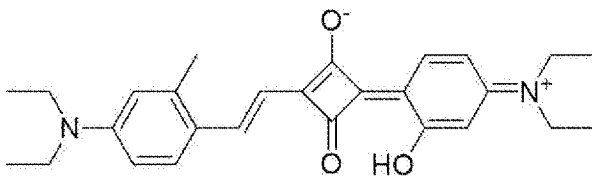


化合物 2-2

[0130] (液晶組成物3の調製)

液晶組成物1の化合物2-1の代わりに、下記化合物2-3を用いた以外は同様に、液晶組成物3を調製した。

[0131] [化10]

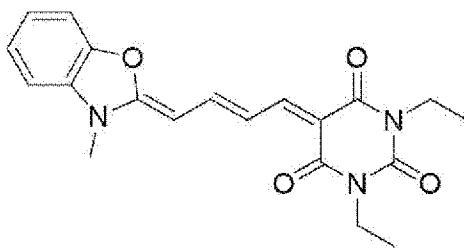


化合物 2-3

[0132] (液晶組成物4の調製)

液晶組成物1の化合物2-1の代わりに、下記化合物3-1を用いた以外は同様に、液晶組成物4を調製した。

[0133] [化11]

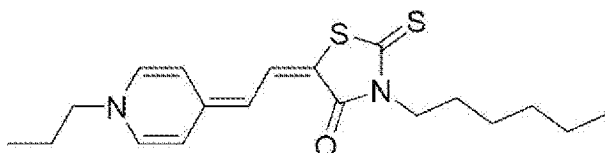


化合物 3-1

[0134] (液晶組成物5の調製)

液晶組成物1の化合物2-1の代わりに、下記化合物3-2を用いた以外は同様に、液晶組成物5を調製した。

[0135] [化12]

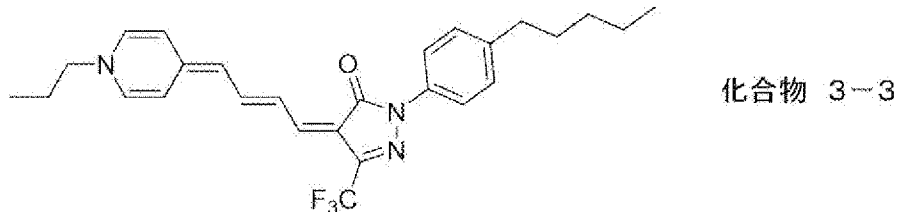


化合物 3-2

[0136] (液晶組成物 6 の調製)

液晶組成物 1 の化合物 2-1 の代わりに、下記化合物 3-3 を用いた以外は同様にして、液晶組成物 6 を調製した。

[0137] [化13]



[0138] (液晶組成物 x の調製)

液晶組成物 1 の化合物 2-1 を使用しないこと以外は同様にして、比較例の液晶組成物 x を調製した。

[0139] (電磁波制御用素子の作製)

(実施例 1)

2. 5 mm 角の石英基板上の中央部に、パターン化した金 (Au) 膜を蒸着法により形成し、複数の微細構造体を配列してなるメタサーフェス構造体とした。このとき、微細構造体のパターンとして、0.32 mm の正方形の微細構造を、0.4 mm 周期で、縦に 40 個、横に 40 個配列させた。また、横方向に配列した 40 個の微細構造は、電圧印加のため幅 0.05 mm、長さ 2.5 mm の細線上の金属パターンで接続し、第 1 電極とした。第 1 電極上にはポリイミドよりなる配向膜を形成した。

[0140] 次に、同様に蒸着法により別の 2.5 mm 角の石英基板上の前面に金 (Au) 膜を形成し、第 2 電極とした。第 2 電極上にはポリイミドよりなる配向膜を形成した。次に、エポキシ樹脂をスペーサーとし、上記第 1 電極を形成した石英基板と第 2 電極を形成した石英基板を、電極面を内側にして接着した。このとき、スペーサーの厚みは、光路長 ($\Delta n \times$ 厚み) が $25 \mu\text{m}$ となる厚みとした。

[0141] 次に、スペーサーにより形成された電極間の空洞に、液晶組成物 1 を充填した。以上により、上述した電磁波制御用素子 10 のように電磁波の方向を

変化させることが可能な反射板として機能する、実施例 1 の電磁波制御用素子を作成した。

[0142] (実施例 2 ～ 6 と比較例)

液晶組成物 1 を下記の表 1 に示す液晶組成物 2 ～ 6 のいずれかに変えた場合は、実施例 1 と同様の方法により実施例 2 ～ 6 の電磁波制御用素子を作製した。

[0143] (Δn の評価)

屈折率の異方性（複屈折性ともいう）の指標である Δn は次のように評価した。周波数が 250 GHz（すなわち、0.25 THz）の電磁波に対する Δn は、Applied Optics, Vol. 44, No. 7, p1150（2005）に開示された方法で測定した。 Δn は、可変短絡導波管に上記組成物を充填し、0.3 T の静磁場内に 3 分保持して、組成物中の二色性色素を配列させた。可変短絡導波管に周波数が 250 GHz の電磁波を入力し、入射波に対する反射波の振幅比を測定した。静磁場の向きと可変短絡導波管の管長を変えて測定し、2 つの軸のそれぞれの屈折率 n_e , n_o を決定した。 Δn は、 $n_e - n_o$ から計算した。

[0144] (切り替え時間の評価)

図 36 に模式的に示す方法によって、作製した電磁波制御用素子へ入射した電磁波の反射方向の切り替え時間を評価した。まず、電磁波制御用素子については、反射面の法線方向から入射した電磁波が 30° の方向へ反射されるように印加電圧を予め調整した。そして、エミッタにおいて、周波数発生器で約 14 GHz の周波数の信号を生成し、通倍器で周波数を 18 倍とすることで、250 GHz の周波数の信号を生成した。図 36 に示すように、エミッタから出射する 250 GHz の周波数の電磁波を樹脂レンズで集束させ、電磁波制御用素子に入射させた。そして、電磁波制御用素子において反射し、樹脂レンズとホーンアンテナで集束した反射電磁波の強度をショットキーダイオードで検出した。次に、印加電圧を再調整することにより、電磁波制御用素子における電磁波の反射方向を、30° の方向から 0° の方向に変

更した。このとき、ショットキーダイオードで検出される電磁波の強度が $1/10$ となる時間を電磁波の反射方向の切り替え時間とした。

[0145] 作製した電磁波制御用素子に対し、充填した液晶組成物の Δn 及び反射方向の切り替え時間を評価した結果を表 1 に示す。液晶層がメチン化合物を含む実施例 1 ～ 6 の電磁波制御用素子では、切り替え時間が短縮されていることが明らかである。また、実施例においては反射型の電磁波制御用素子について示したが、透過型の電磁波制御用素子についても同様の効果が認められる。

[0146] [表1]

	液晶組成物	Δn	切り替え時間
実施例 1	液晶組成物 1	0.44	13msec
実施例 2	液晶組成物 2	0.43	14msec
実施例 3	液晶組成物 3	0.50	10msec
実施例 4	液晶組成物 4	0.42	14msec
実施例 5	液晶組成物 5	0.38	17msec
実施例 6	液晶組成物 6	0.41	15msec
比較例 1	液晶組成物 X	0.31	28msec

[0147] 本開示の技術は、上述の種々の実施形態および／または種々の変形例を適宜組み合わせることも可能である。また、上記各実施形態に限らず、要旨を逸脱しない限り種々の構成を採用し得ることはもちろんである。

[0148] 以上に示した記載内容および図示内容は、本開示の技術に係る部分についての詳細な説明であり、本開示の技術の一例に過ぎない。例えば、上記の構成、機能、作用、および効果に関する説明は、本開示の技術に係る部分の構成、機能、作用、および効果の一例に関する説明である。よって、本開示の技術の主旨を逸脱しない範囲内において、以上に示した記載内容および図示内容に対して、不要な部分を削除したり、新たな要素を追加したり、置き換えたりしてもよいことはいうまでもない。また、錯綜を回避し、本開示の技術に係る部分の理解を容易にするために、以上に示した記載内容および図示内容では、本開示の技術の実施を可能にする上で特に説明を要しない技術常識等に関する説明は省略されている。

- [0149] 本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。本明細書において、「同一」は、技術分野で一般的に許容される誤差範囲を含むものとする。
- [0150] 上記において、電磁波制御用素子などを例示した図は、いずれも概念図である。したがって、各部材の形状、大きさ、厚さ、および、位置関係等は、必ずしも、実際のものとは一致しない。
- [0151] 本明細書において、「Aおよび／またはB」は、「AおよびBのうちの少なくとも1つ」と同義である。つまり、「Aおよび／またはB」は、Aだけであってもよいし、Bだけであってもよいし、AおよびBの組み合わせであってもよい、という意味である。また、本明細書において、3つ以上の事柄を「および／または」で結び付けて表現する場合も、「Aおよび／またはB」と同様の考え方が適用される。
- [0152] 2023年1月31日に出願された日本国特許出願2023-013602号の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。また、本明細書に記載された全ての文献、特許出願および技術規格は、個々の文献、特許出願および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。
- [0153] 上記実施形態は、更に以下の付記項に係る技術を開示する。
- 「付記項1」
- 電圧によって液晶化合物の配向状態が変化する液晶層と、
複数の微細構造体を配列してなるメタサーフェス構造体と、
第1電極および第2電極によって構成され、電圧を印加するための電極対と、を有し、
周波数が0.1～0.3THzの電磁波に作用するものであり、かつ、液晶層がメチン化合物を含む、電磁波制御用素子。
- 「付記項2」
- メチン化合物が、メチン構造を有する、付記項1に記載の電磁波制御用素

子。

「付記項 3」

液晶層がメチン構造を有する液晶化合物を含む、付記項 1 又は付記項 2 に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 4」

第 1 電極および第 2 電極の少なくとも一方が微細構造体である、付記項 1 ～付記項 3 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 5」

微細構造体とは独立した要素として、第 1 電極と第 2 電極を有する、付記項 1 ～付記項 4 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 6」

第 1 電極および第 2 電極の一方は、パターン電極である、付記項 1 ～付記項 5 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 7」

微細構造体が、金属を含む、付記項 1 ～付記項 6 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 8」

微細構造体が、酸化物半導体を含む、付記項 1 ～付記項 7 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 9」

液晶層の厚さ方向に、電圧による電界が発生する、付記項 1 ～付記項 8 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 10」

液晶層の厚さ方向と交差する方向に、電圧による電界が発生する、付記項 1 ～付記項 9 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 11」

電磁波を反射する反射型である、付記項 1 ～付記項 10 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 2」

第 1 電極および第 2 電極の一方は、電磁波を反射する反射層を兼ねる、付記項 1 1 に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 3」

電磁波を透過する透過型である、付記項 1 ～付記項 1 2 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 4」

入射する電磁波を、微細構造体の配列方向に沿う方向に導波する導波路を有しており、導波路内を導波する電磁波の一部を配列方向と交差する方向に出射する、付記項 1 ～付記項 1 3 のうちのいずれか 1 項に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 5」

導波路を画定する壁面の一部に、電磁波を出射する開口部が形成されている、付記項 1 4 に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 6」

導波路を構成する導波路部材は、第 1 電極または第 2 電極として機能する、付記項 1 4 又は付記項 1 5 に記載の電磁波制御用素子。

「付記項 1 7」

開口部が微細構造体として機能する、付記項 1 5 又は付記項 1 6 に記載の電磁波制御用素子。

請求の範囲

- [請求項1] 電圧によって液晶化合物の配向状態が変化する液晶層と、
複数の微細構造体を配列してなるメタサーフェス構造体と、
第1電極および第2電極によって構成され、前記電圧を印加するための電極対と、を有し、
周波数が0.1～0.3THzの電磁波に作用するものであり、かつ、前記液晶層がメチン化合物を含む、電磁波制御用素子。
- [請求項2] 前記メチン化合物が、メチン構造を有する、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項3] 前記液晶層がメチン構造を有する液晶化合物を含む、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項4] 前記第1電極および前記第2電極の少なくとも一方が前記微細構造体である、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項5] 前記微細構造体とは独立した要素として、前記第1電極と前記第2電極を有する、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項6] 前記第1電極および前記第2電極の一方は、パターン電極である、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項7] 前記微細構造体が、金属を含む、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項8] 前記微細構造体が、酸化物半導体を含む、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項9] 前記液晶層の厚さ方向に、前記電圧による電界が発生する、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項10] 前記液晶層の厚さ方向と交差する方向に、前記電圧による電界が発生する、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項11] 前記電磁波を反射する反射型である、請求項1に記載の電磁波制御用素子。
- [請求項12] 前記第1電極および前記第2電極の一方は、電磁波を反射する反射

層を兼ねる、請求項 1 1 に記載の電磁波制御用素子。

[請求項13] 前記電磁波を透過する透過型である、請求項 1 に記載の電磁波制御用素子。

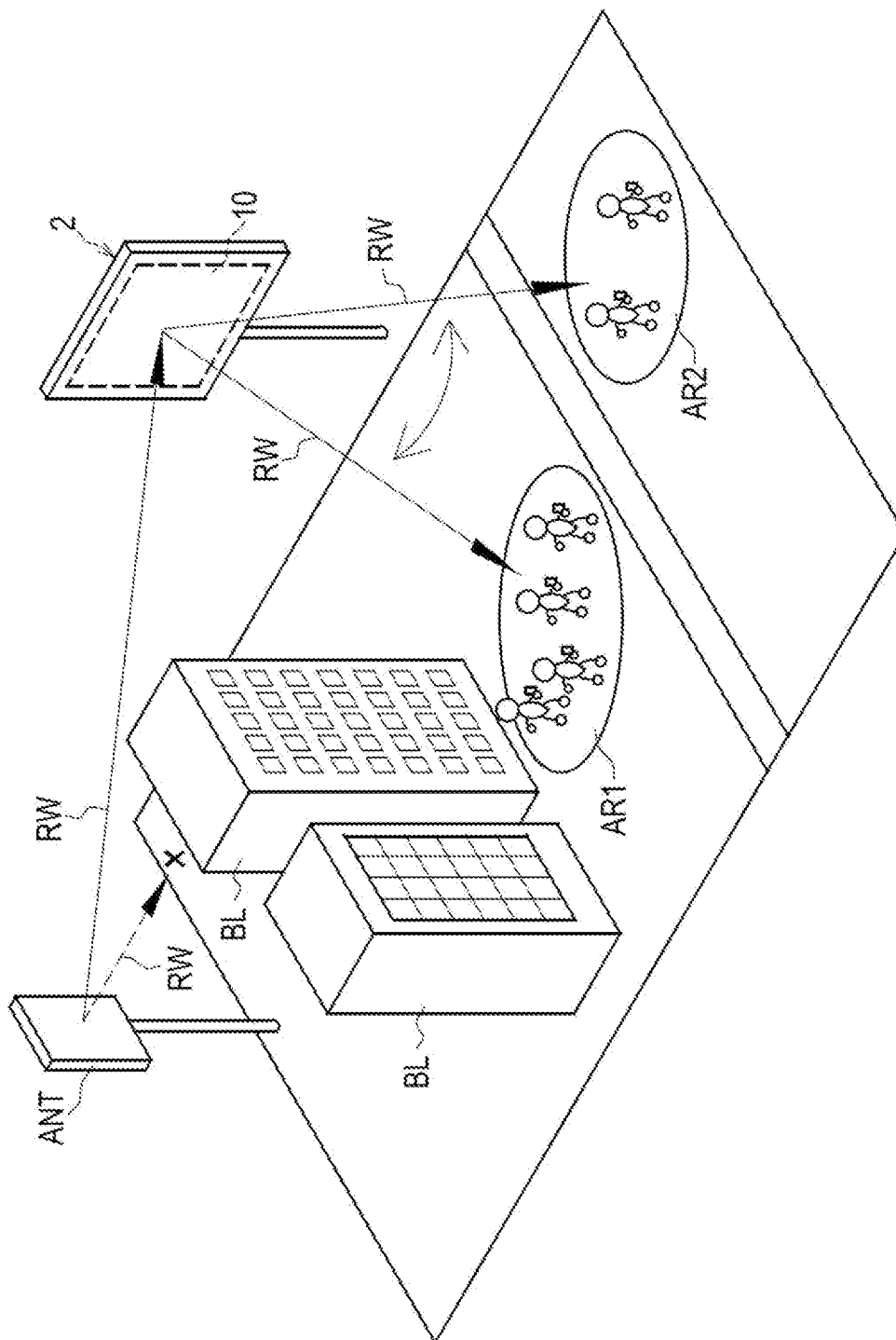
[請求項14] 入射する前記電磁波を、前記微細構造体の配列方向に沿う方向に導波する導波路を有しており、前記導波路内を導波する前記電磁波の一部を前記配列方向と交差する方向に出射する、請求項 1 に記載の電磁波制御用素子。

[請求項15] 前記導波路を画定する壁面の一部に、前記電磁波を出射する開口部が形成されている、請求項 1 4 に記載の電磁波制御用素子。

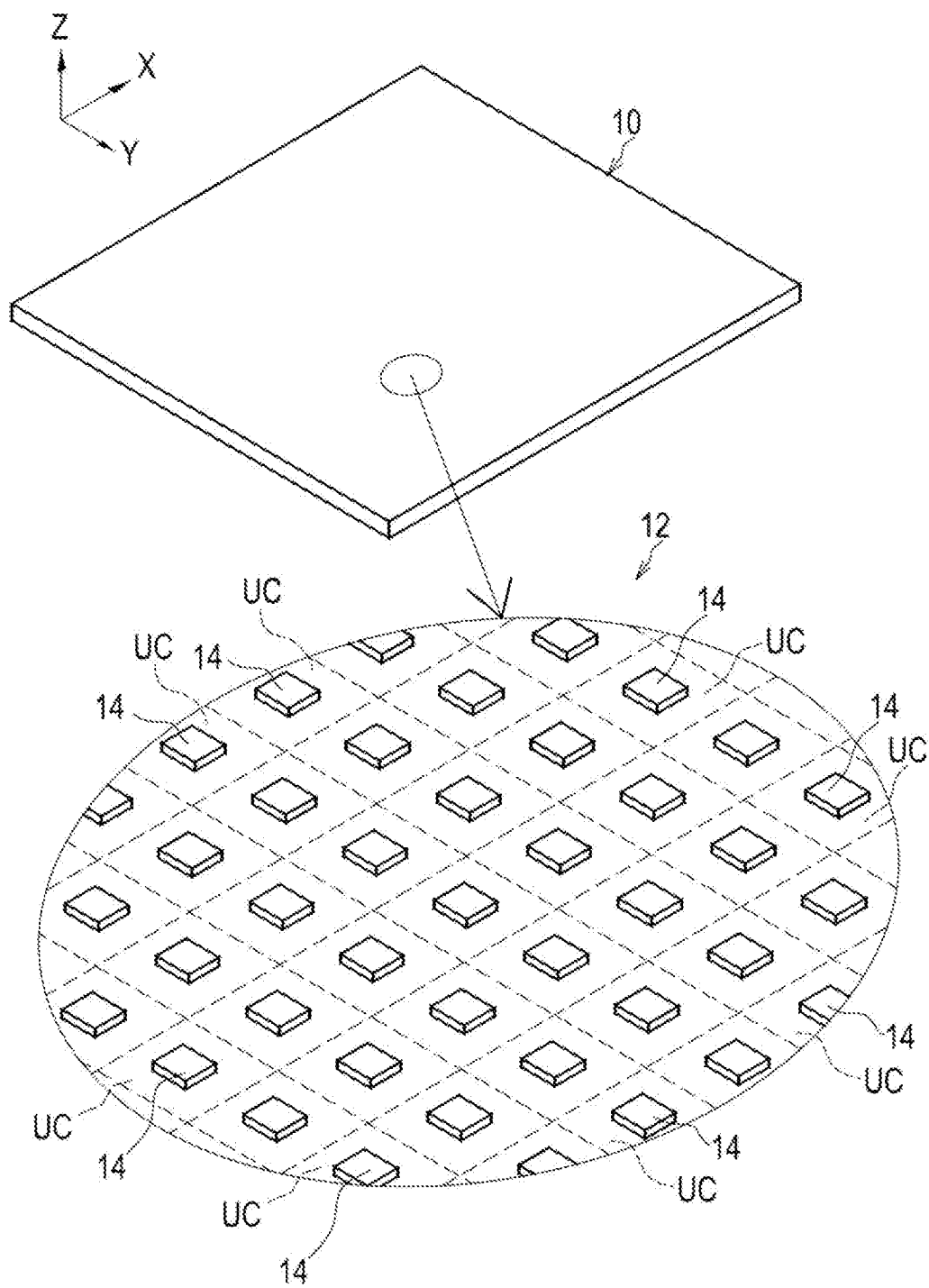
[請求項16] 前記導波路を構成する導波路部材は、前記第 1 電極または前記第 2 電極として機能する、請求項 1 4 に記載の電磁波制御用素子。

[請求項17] 前記開口部が前記微細構造体として機能する、請求項 1 5 に記載の電磁波制御用素子。

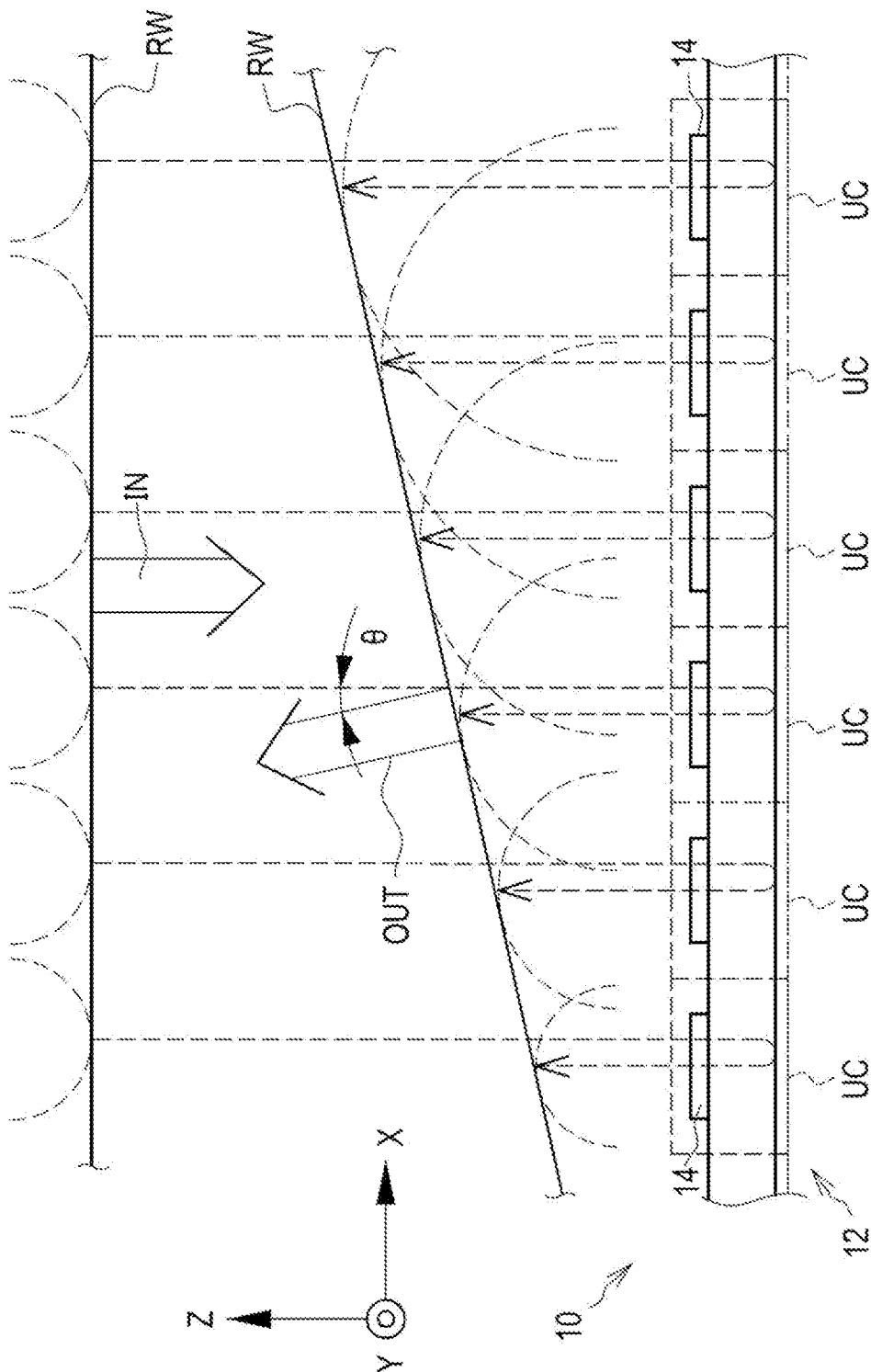
[図1]



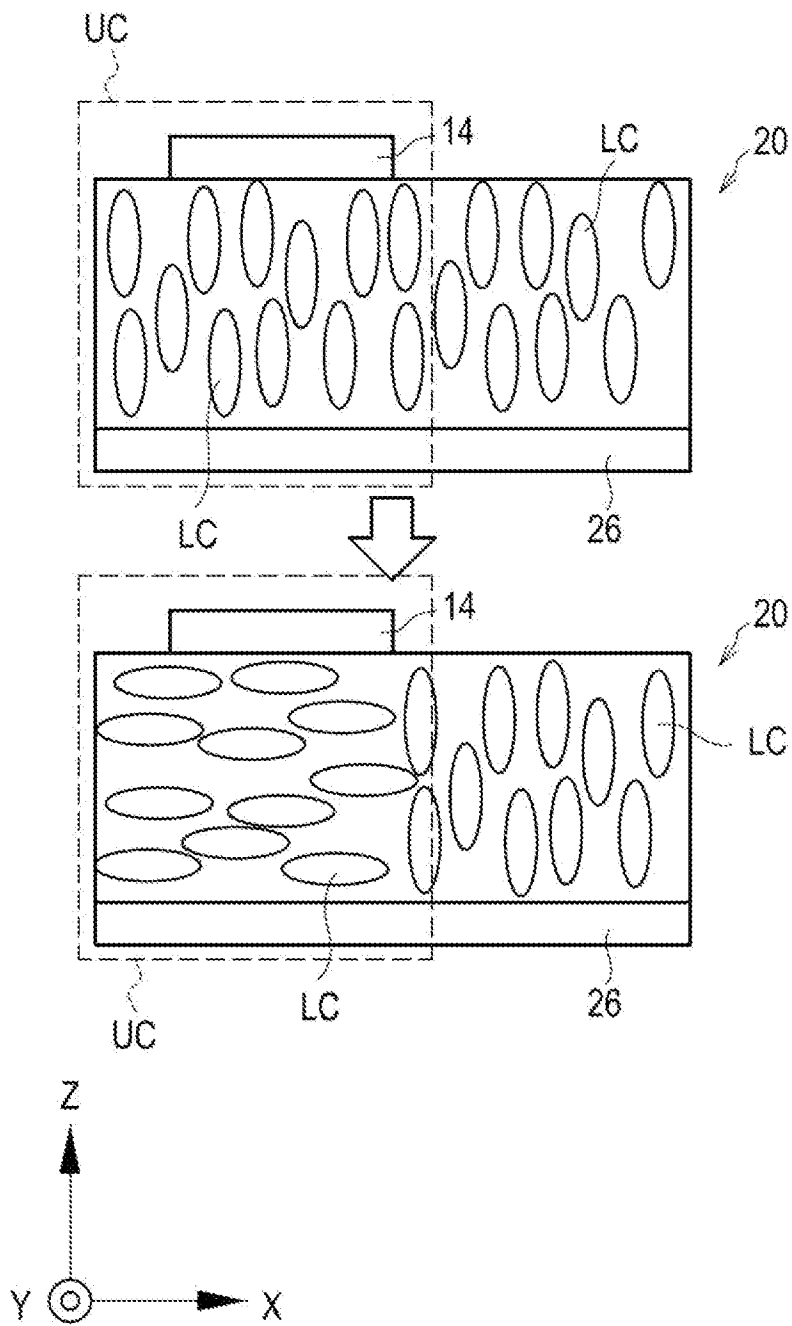
[図2]



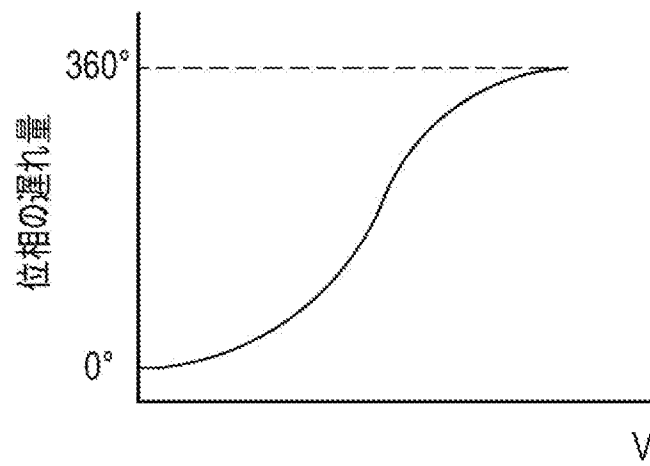
[図3]



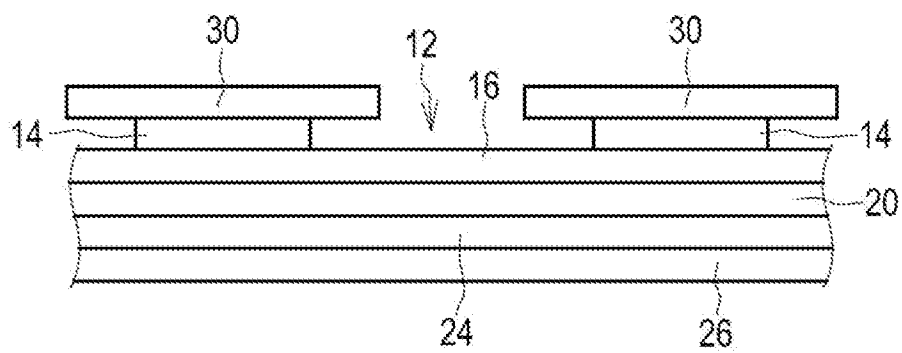
[図5]



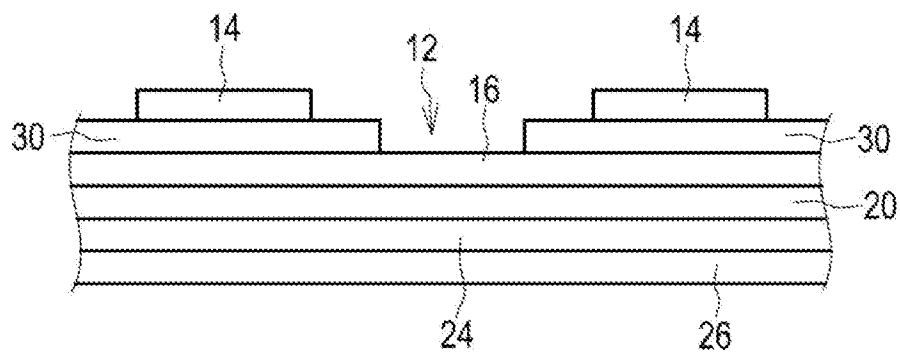
[図6]



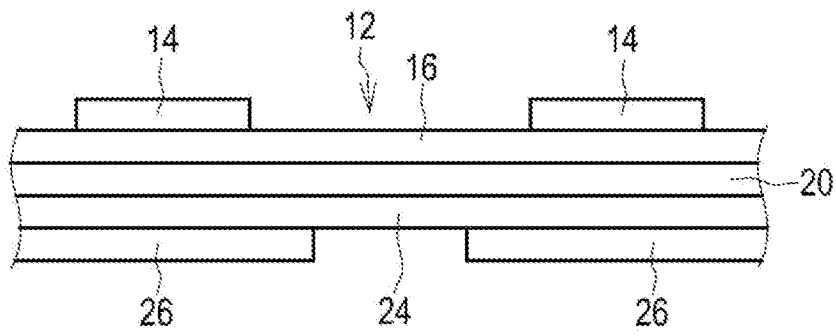
[図7]



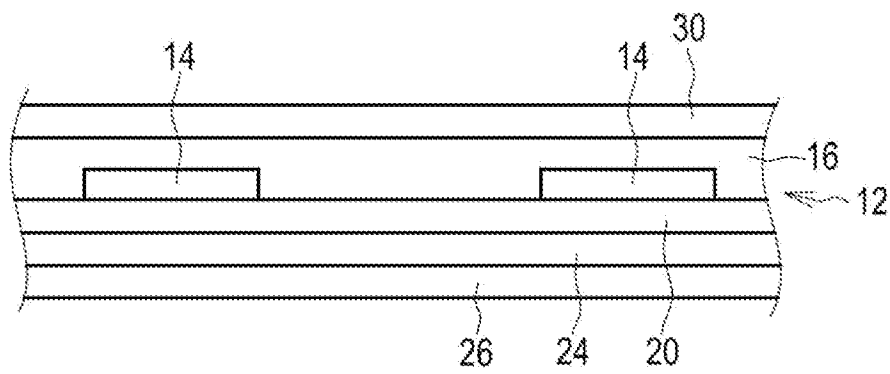
[図8]



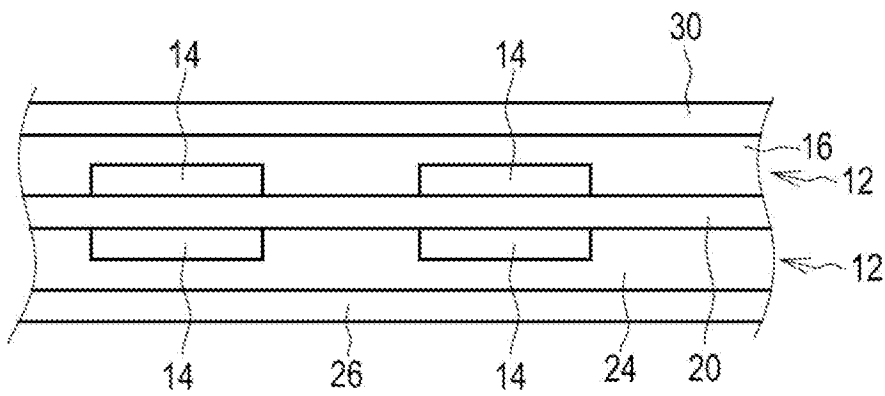
[図9]



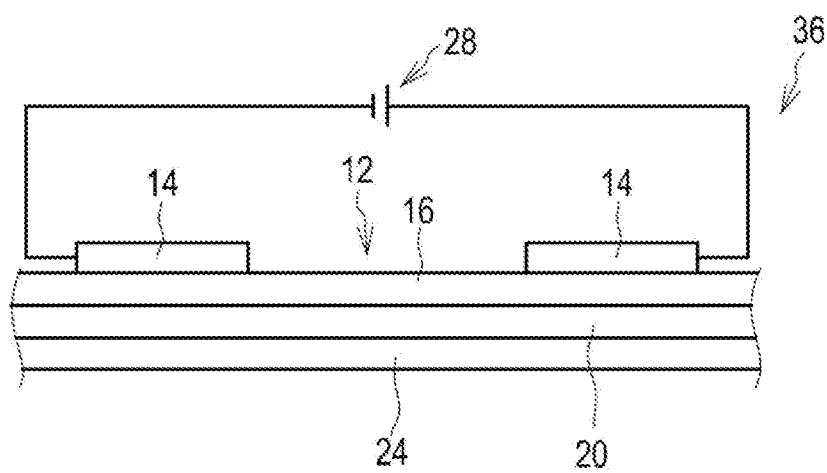
[図10]



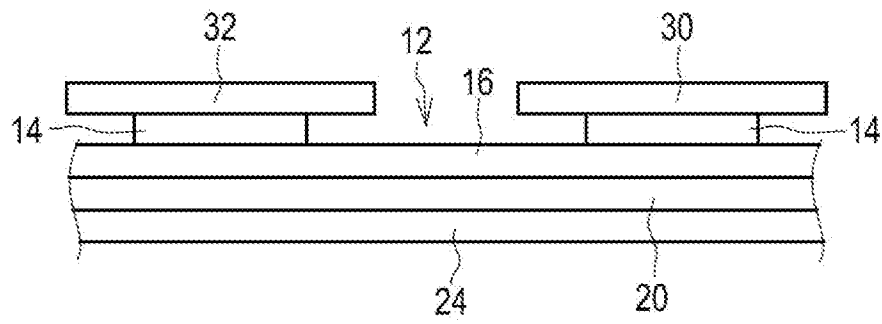
[図11]



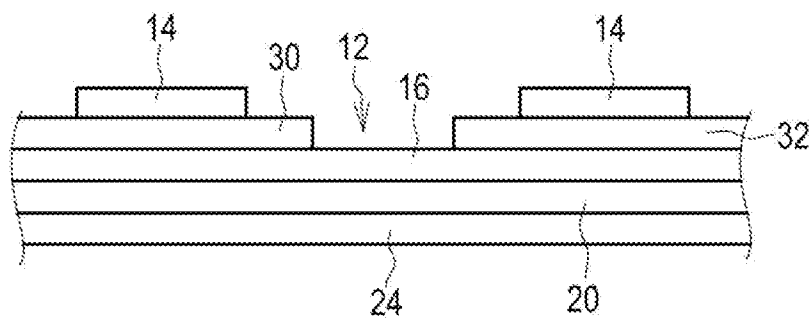
[図12]



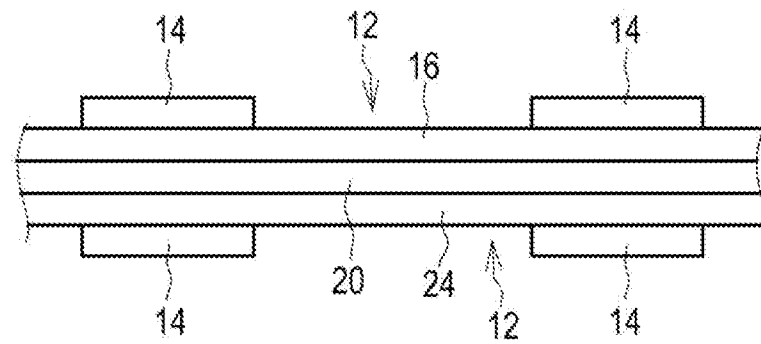
[図13]



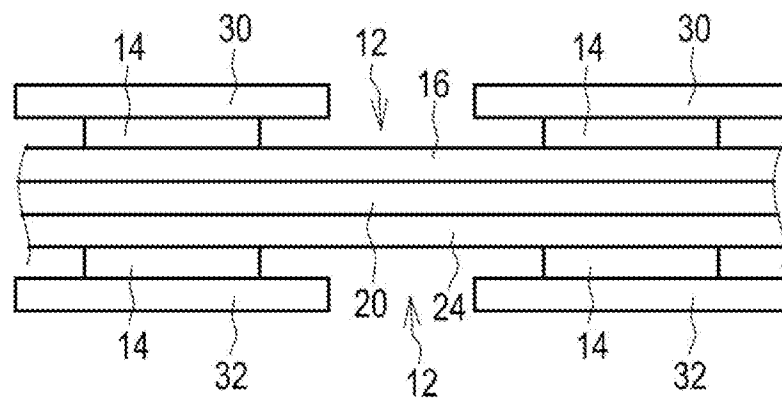
[図14]



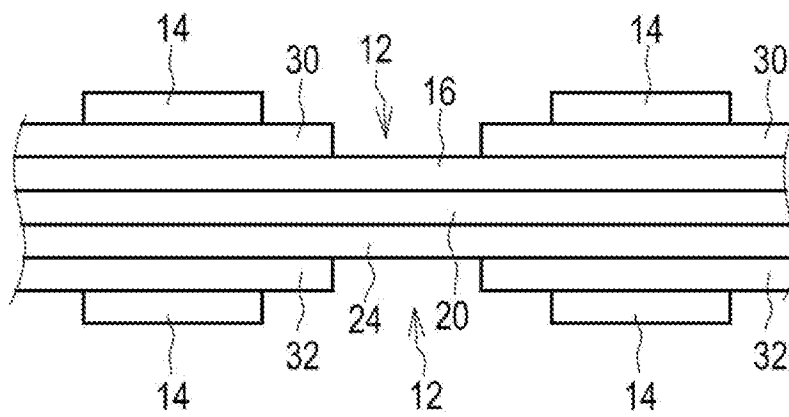
[図15]



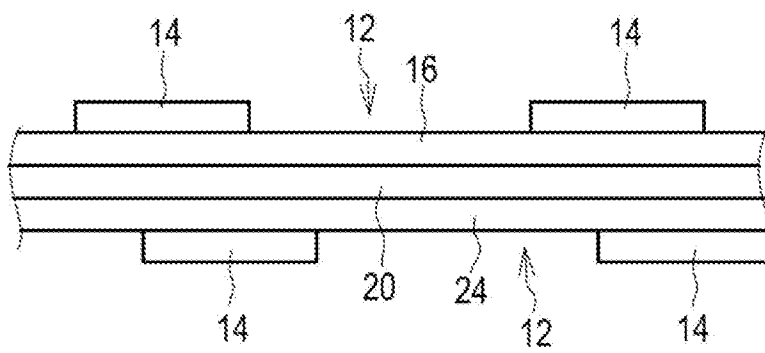
[図16]



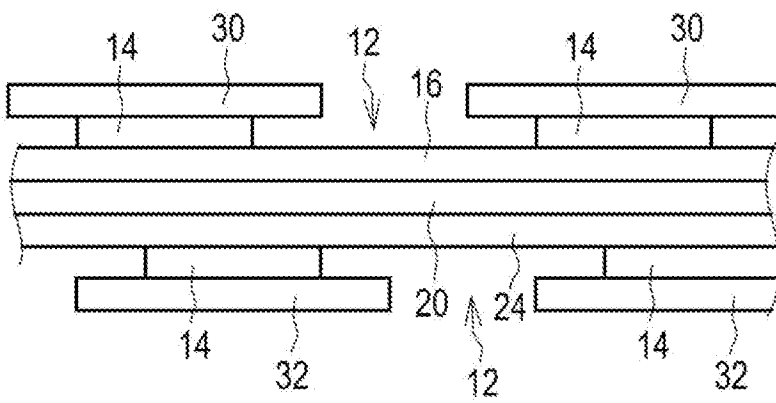
[図17]



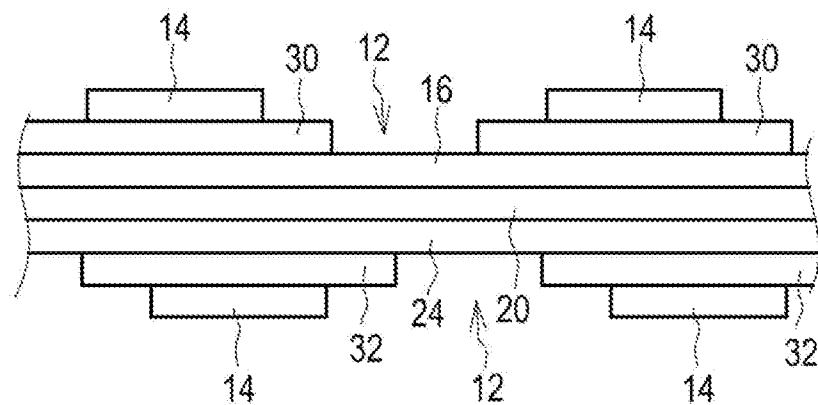
[図18]



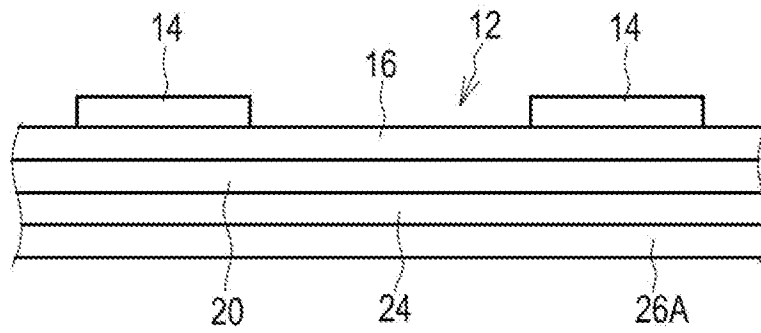
[図19]



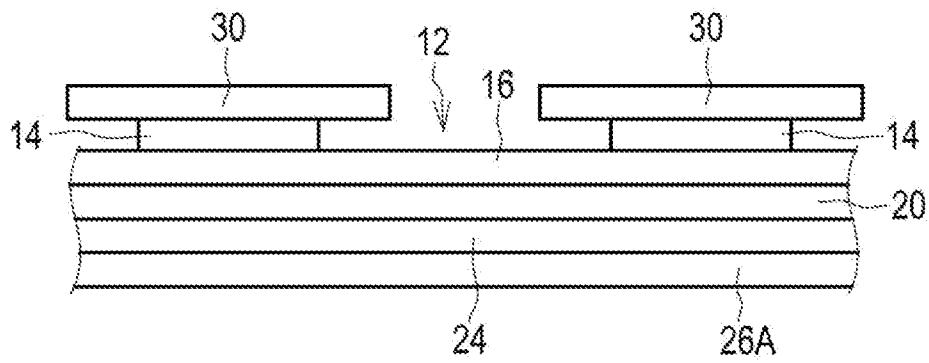
[図20]



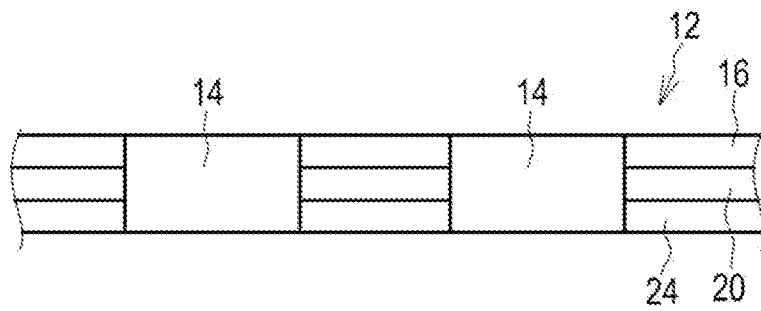
[図21]



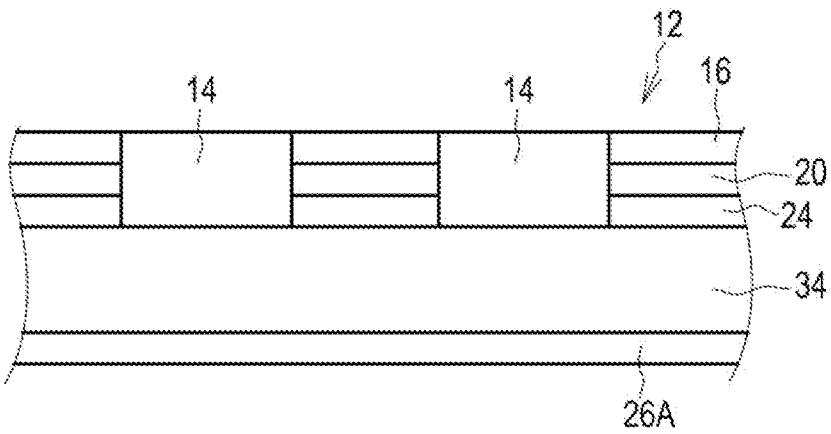
[図22]



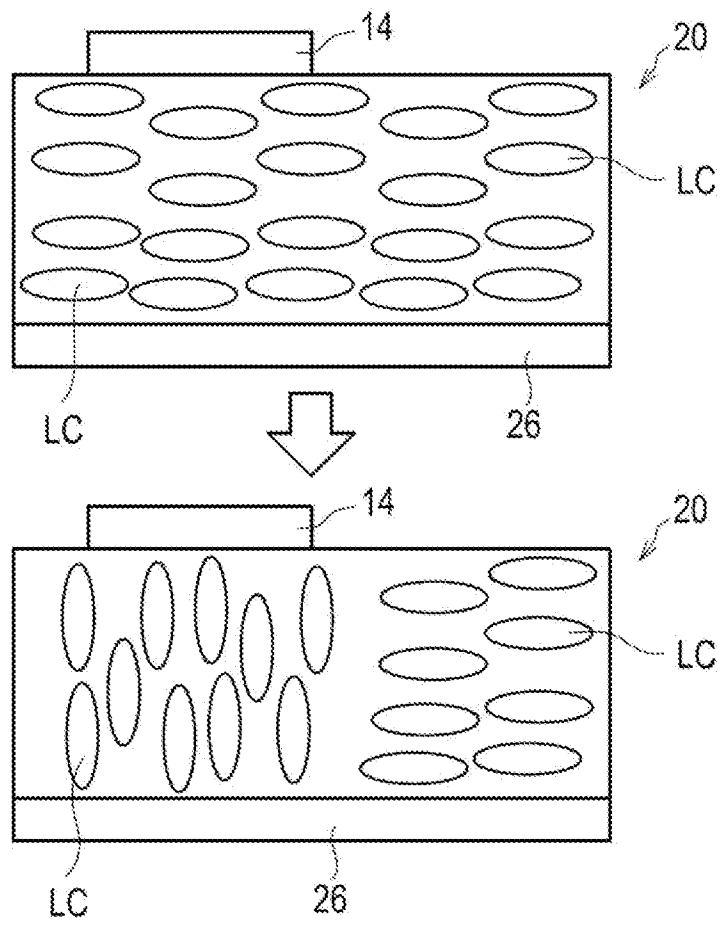
[図23]



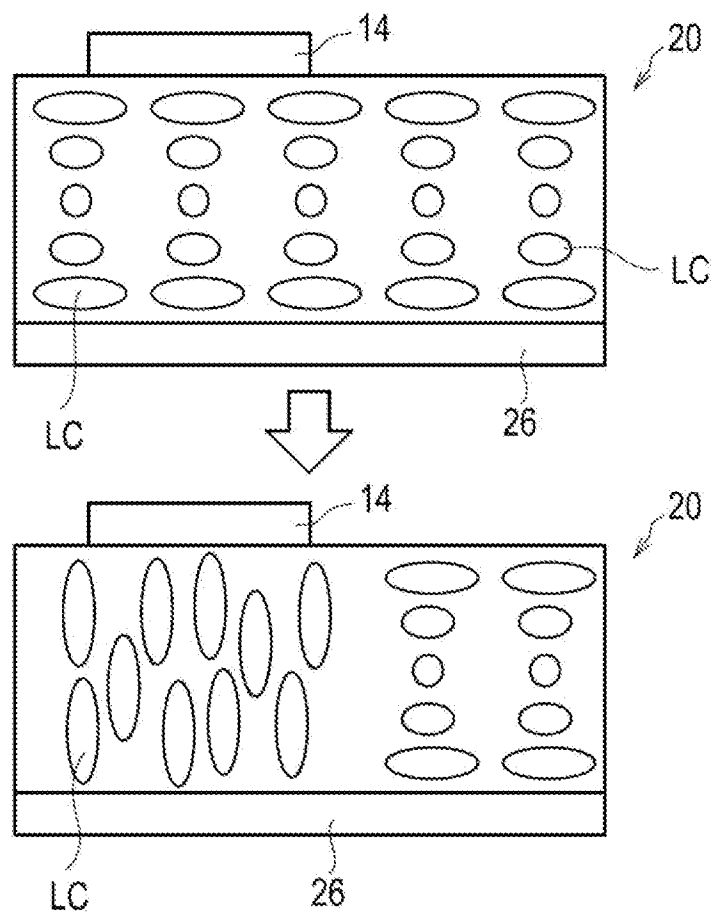
[図24]



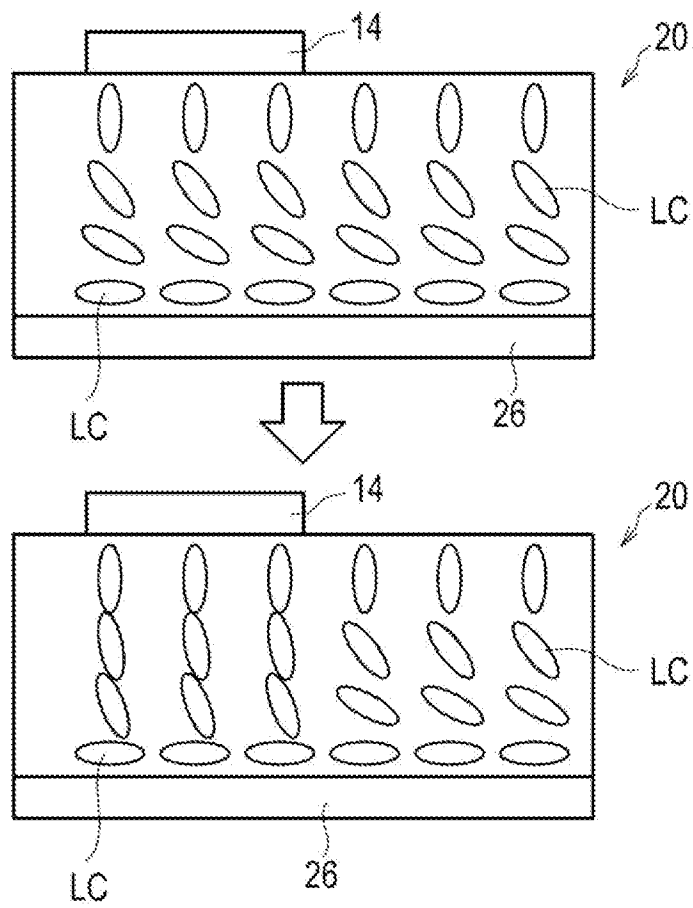
[図25]



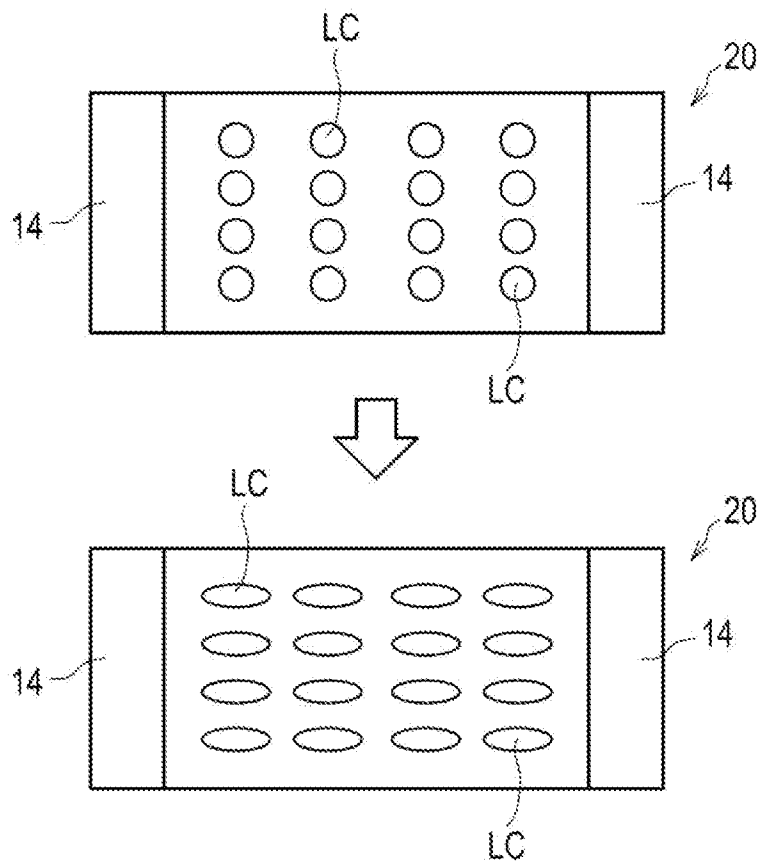
[図26]



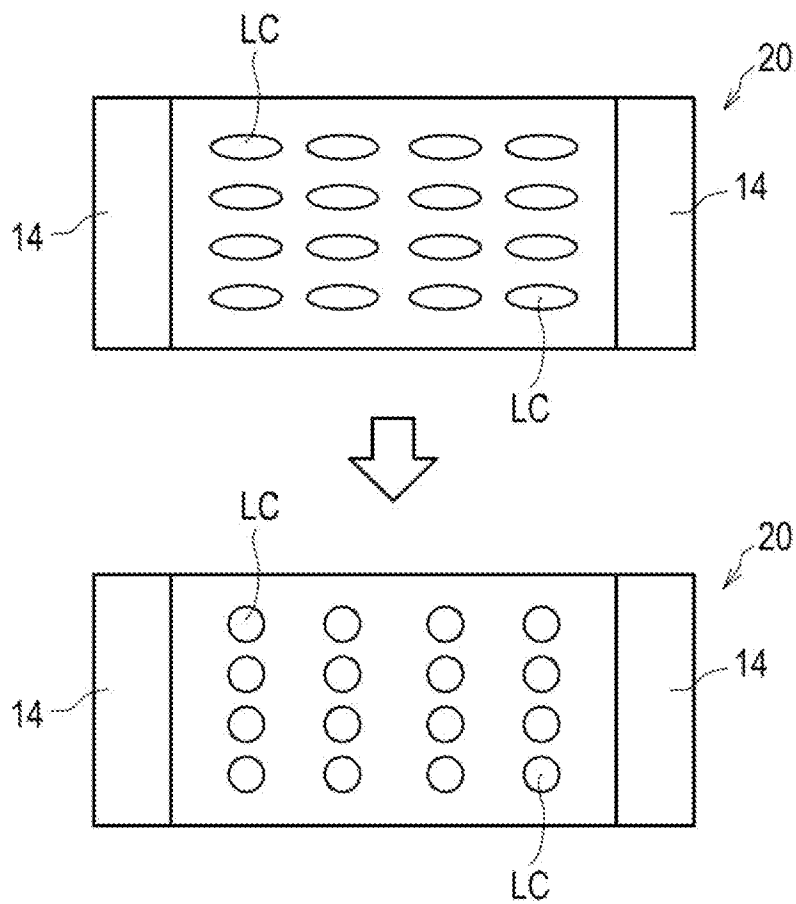
[図27]



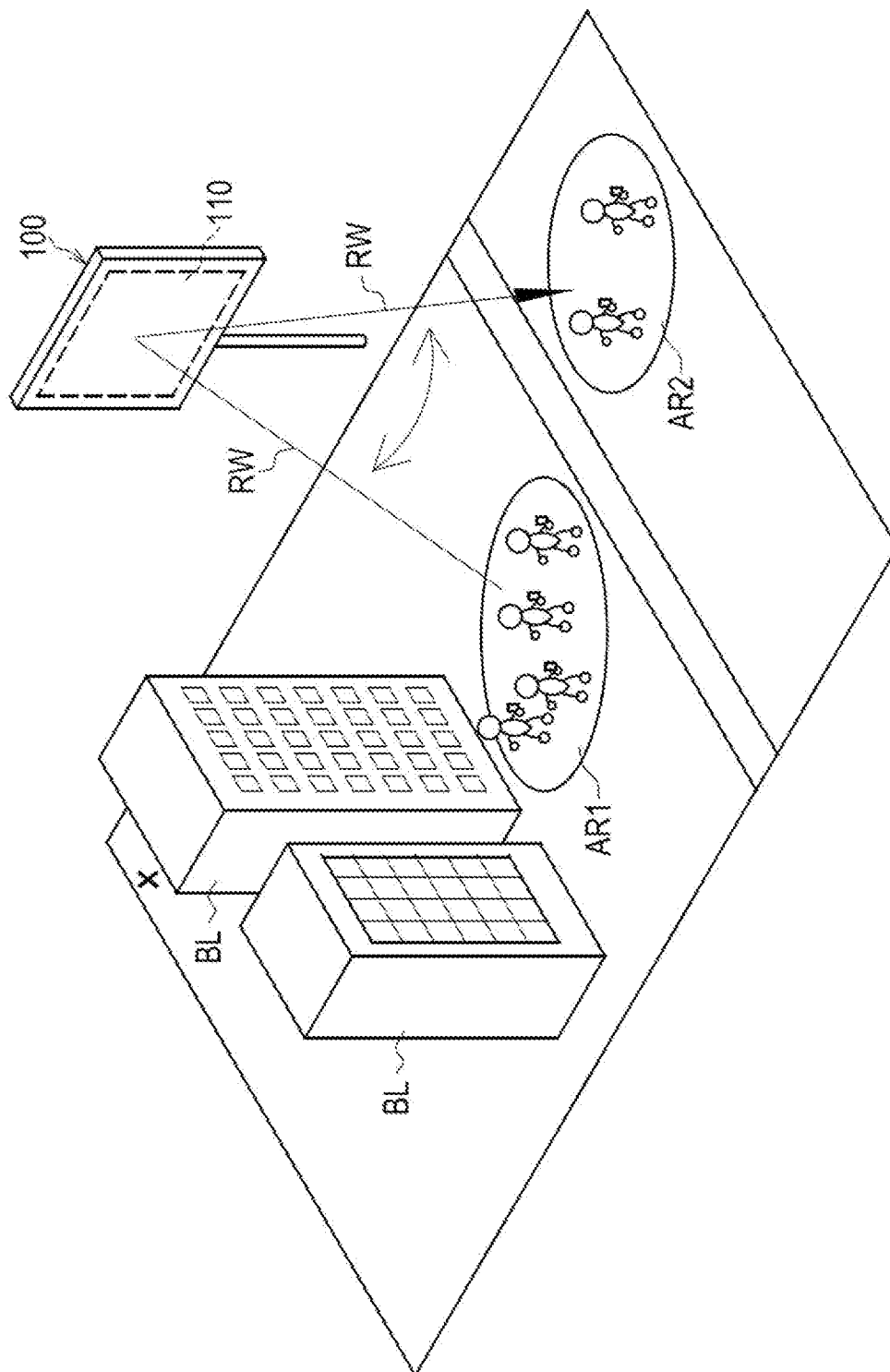
[図28]



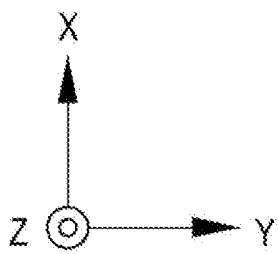
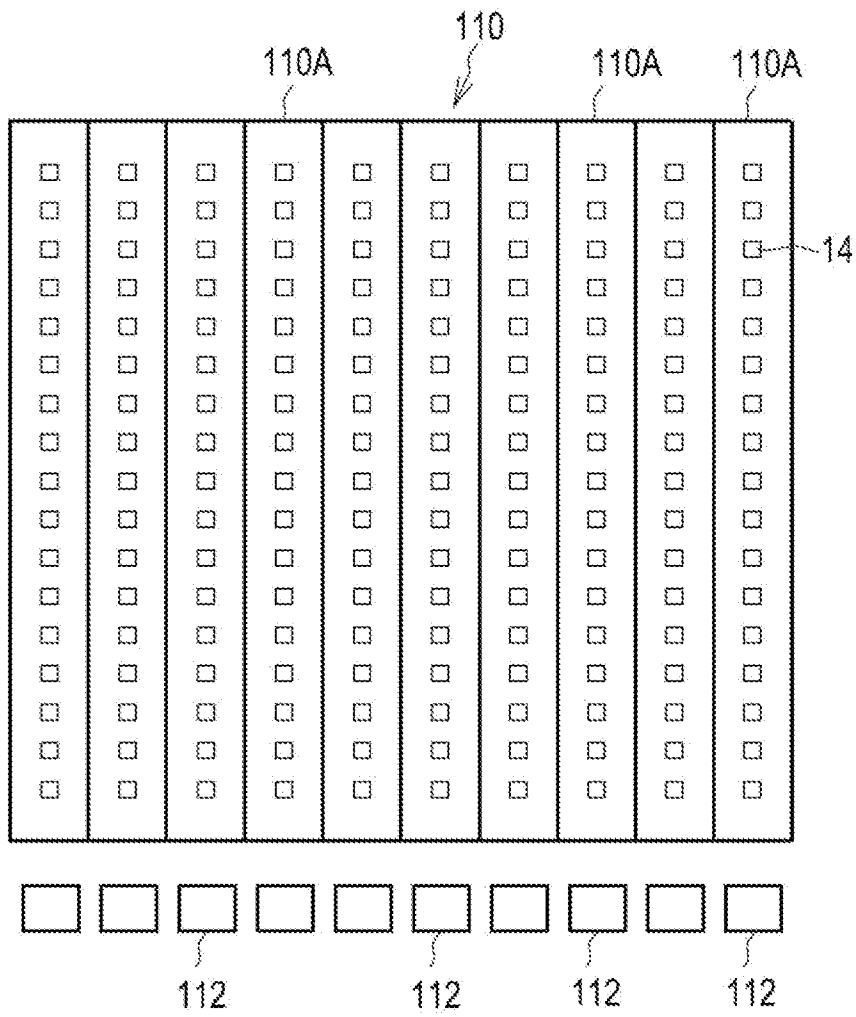
[図29]



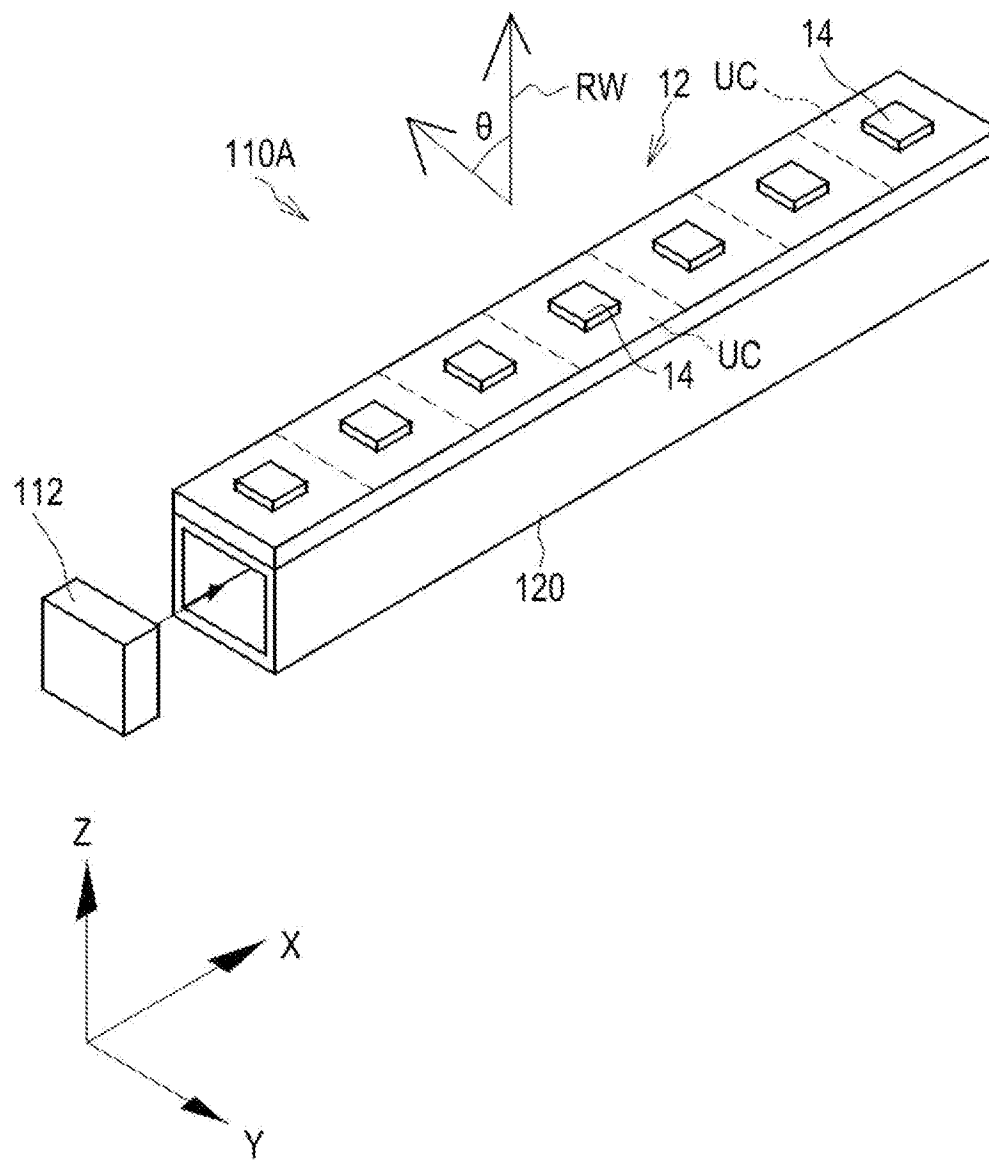
[図30]



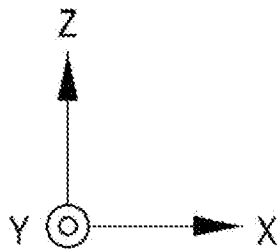
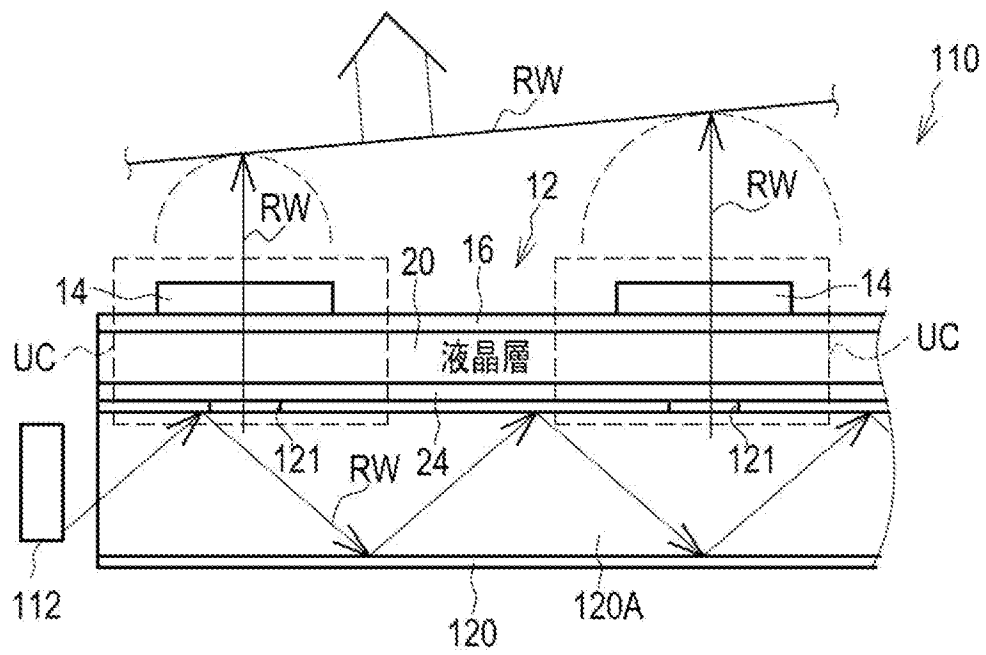
[図31]



[図32]



[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/001137

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01Q 15/14 (2006.01)i; G02F 1/13 (2006.01)i; G02F 1/1343 (2006.01)i; H01Q 3/36 (2006.01)i; H01Q 3/44 (2006.01)i FI: H01Q15/14 Z; G02F1/13 500; G02F1/13 505; G02F1/1343; H01Q3/36; H01Q3/44 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) H01Q15/14; G02F1/13; G02F1/1343; H01Q3/36; H01Q3/44 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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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	WU, Jingbo et al. Liquid crystal programmable metasurface for terahertz beam steering. Applied Physics Letters. vol. 116, issue 13, 30 March 2020 pp. 131104-1 to 131104-5	1-17
A	WANG, Lei et al. Large birefringence liquid crystal material in terahertz range. Optical Materials Express. vol. 2, issue 10, 31 August 2012 pp. 1314-1319	1-17
A	WO 2022/176737 A1 (JAPAN DISPLAY INC.) 25 August 2022 (2022-08-25)	1-17
A	JP 2007-163582 A (FUJIFILM CORPORATION) 28 June 2007 (2007-06-28)	1-17
☐ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 March 2024		Date of mailing of the international search report 26 March 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 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/JP2024/001137

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2022/176737	A1	25 August 2022	US	2023/0400747	A1	
				CN	116888824	A	
				KR	10-2023-0142552	A	

JP	2007-163582	A	28 June 2007	US	2007/0131903	A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01Q 15/14(2006.01)i; G02F 1/13(2006.01)i; G02F 1/1343(2006.01)i; H01Q 3/36(2006.01)i;
H01Q 3/44(2006.01)i
FI: H01Q15/14 Z; G02F1/13 500; G02F1/13 505; G02F1/1343; H01Q3/36; H01Q3/44

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））

H01Q15/14; G02F1/13; G02F1/1343; H01Q3/36; H01Q3/44

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 1971-2024年
日本国実用新案登録公報 1996-2024年
日本国登録実用新案公報 1994-2024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	WU, Jingbo et al., Liquid crystal programmable metasurface for terahertz beam steering, Applied Physics Letters, Volume 116, Issue 13, 2020.03.30 pp. 131104-1 - 131104-5	1-17
A	WANG, Lei et al., Large birefringence liquid crystal material in terahertz range, Optical Materials Express, Volume 2, Issue 10, 2012.08.31 pp. 1314-1319	1-17
A	WO 2022/176737 A1 (株式会社ジャパンディスプレイ) 25.08.2022 (2022-08-25)	1-17
A	JP 2007-163582 A (富士フイルム株式会社) 28.06.2007 (2007-06-28)	1-17

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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
18.03.2024

国際調査報告の発送日
26.03.2024

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）

白井 亮 5K 3363

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/JP2024/001137

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/176737	A1	25.08.2022	US	2023/0400747	A1	
				CN	116888824	A	
				KR	10-2023-0142552	A	
JP	2007-163582	A	28.06.2007	US	2007/0131903	A1	