

(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
2015 年 12 月 30 日(30.12.2015)



(10) 国際公開番号

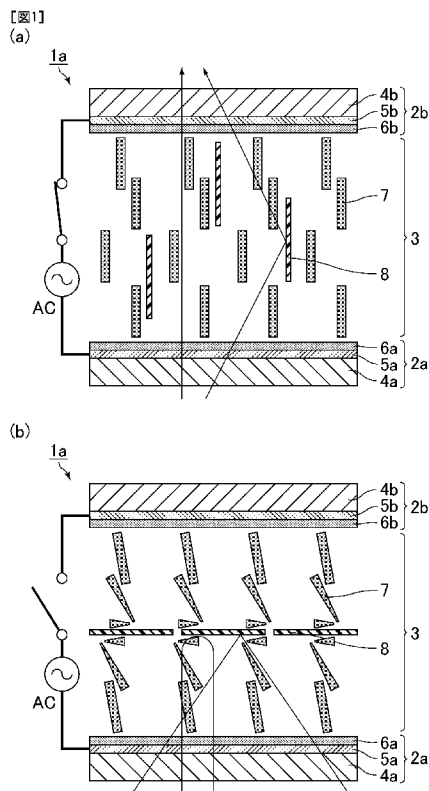
WO 2015/198907 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/19 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/067223
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 16 日(16.06.2015)
- (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 2014-128445 2014 年 6 月 23 日(23.06.2014) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 佐藤 英次(SATO Eiji), 友利 拓馬(TO-MOTOSHI Takuma), 箕浦 潔(MINOURA Kiyoshi), 森脇 弘幸(MORIWAKI Hiroyuki), 寺西 知子(TERANISHI Tomoko), 大竹 忠(OHTAKE Tadamashi), 李 昊(LI Hao).
- (74) 代理人: 特許業務法人 安富国際特許事務所 (YASUTOMI & ASSOCIATES); 〒5320003 大阪府大阪市淀川区宮原 3 丁目 5 番 3 6 号 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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,

[続葉有]

(54) Title: LIGHT MODULATING DEVICE AND DISPLAY DEVICE

(54) 発明の名称: 光変調装置及び表示装置



(57) Abstract: The present invention provides a light modulating device that can increase utilization efficiency of light in a light reflecting state by a simple constitution. This light modulating device is a light modulating device provided with a first substrate and a second substrate disposed facing each other and a light modulating layer disposed between the first substrate and the second substrate, wherein: the first substrate and the second substrate each have electrodes; the light modulating layer has anisotropic shaped members dispersed in liquid crystals; the liquid crystal molecules in the liquid crystals are disposed so as to be twisted along the direction of thickness of the light modulating layer in a state where voltage is not applied to the electrodes; and the tilt angle of the liquid crystal molecules in the state of electricity not being applied to the electrodes changes along the direction of thickness of the light modulating layer and is 7.5 - 90° at a first interface for the first substrate and/or a second interface for the second substrate.

(57) 要約: 本発明は、簡素な構成で、光反射状態における光の利用効率を高めることができる光変調装置を提供する。本発明の光変調装置は、対向して配置された第一の基板及び第二の基板と、上記第一の基板と上記第二の基板との間に配置された光変調層とを備える光変調装置であって、上記第一の基板及び上記第二の基板の各々は、電極を有し、上記光変調層は、液晶中に形状異方性部材が分散されたものであり、上記液晶中の液晶分子は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記光変調層の厚み方向に沿って捩れて配向し、上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記光変調層の厚み方向に沿って変化し、かつ、上記第一の基板側の第一の界面及び上記第二の基板側の第二の界面の少なくとも一方で 7.5°以上、90°以下である。

WO 2015/198907 A1



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称： 光変調装置及び表示装置

技術分野

[0001] 本発明は、光変調装置及び表示装置に関する。より詳しくは、液晶中に分散させた形状異方性部材の向きを制御することによって光変調を行う光変調装置、及び、上記光変調装置を備える表示装置に関するものである。

背景技術

[0002] 光変調パネルとしては、一対の偏光板を用いる方式の液晶パネルがよく知られている。この方式では、液晶パネルへの入射光を一方の偏光板によって偏光に変換し、液晶層を透過した偏光を他方の偏光板に入射させることによって、液晶パネルへの入射光の透過率を制御することができる。液晶層は、印加される電圧の大きさに応じて液晶層中の液晶分子の配向が変化するため、偏光状態の制御に用いることができる。この方式の液晶パネルでは、入射光が液晶パネルを透過するまでの間に、その半分以上が偏光板で吸収されてしまうため、光の利用効率を向上させる上で限界があった。このため、偏光板を必要としない光変調パネルが提案されている（例えば、特許文献１～７参照）。

[0003] 特許文献１には、液体ホスト中に懸濁された電気－光学感受性フレークの系を含み、印加電圧の変化によってその光学特性を選択的に変化させるための光学装置が開示されている。特許文献２には、反射性粒子を含む懸濁液層を備えた半透過反射ディスプレイが開示されている。特許文献３～７には、形状異方性部材を含む光変調層を備えた光変調パネルや表示パネルが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特表２００３－５３３７３６号公報

特許文献２：特表２００７－５０６１５２号公報

特許文献3：国際公開第2013／108899号

特許文献4：国際公開第2013／129373号

特許文献5：国際公開第2013／141051号

特許文献6：国際公開第2013／141248号

特許文献7：国際公開第2014／034930号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上記特許文献1に記載の発明は、電場によって、フレークを基板に対して平行な状態から垂直な状態、又は、垂直な状態から平行な状態のいずれか一方方向に動作させることは可能である。しかしながら、媒体としてネマチック液晶を用いた場合、その誘電率異方性を利用するだけでは、電圧無印加時に、フレークを一定の方向に配向させることができない。このため、光反射状態において、入射光を入射側に効率的に反射することができず、光の利用効率が低下することがあった。
- [0006] 上記特許文献2に記載の発明は、リブ状のスペーサの側面に設けられた電極で横電界を印加することによって、反射性粒子を基板に対して平行な状態に戻している。しかしながら、スペーサの側面に横電界を印加するための電極を設けるためには、複雑な構成のスペーサが必要である。また、電極間の距離が長いため、非常に高い電圧を要すると考えられる。
- [0007] 上記特許文献3～7に記載の発明では、光反射状態において、形状異方性部材が光変調層の厚み方向に分布した場合、入射角の大きな光が形状異方性部材の間をすり抜けてしまうことがあった。このため、光反射状態において、入射光を入射側に効率的に反射することができず、光の利用効率が低下することがあった。
- [0008] 本発明は、上記現状に鑑みてなされたものであり、簡素な構成で、光反射状態における光の利用効率を高めることができる光変調装置、及び、上記光変調装置を備える表示装置を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、一对の基板間に配置された光変調層として、液晶中に形状異方性部材が分散された光変調層を用い、電圧印加による液晶の配向状態の変化を利用して形状異方性部材の配向を制御する光変調装置において、入射角の大きな光が形状異方性部材の間をすり抜けてしまうことに着目した。そして、本発明者らは、更に検討したところ、形状異方性部材の光変調層の厚み方向の分布を狭めることによって、入射角の大きな光であっても、入射光を入射側に効率的に反射することができることを見出した。更に、電圧無印加時（光変調層に電圧を印加しない状態）に、下記の構成（１）及び（２）を採用すれば、形状異方性部材の光変調層の厚み方向の分布を狭めることができることを見出した。

（１）液晶中の液晶分子が、光変調層の厚み方向に沿って振れて配向する構成

（２）液晶分子のチルト角が、光変調層の厚み方向に沿って変化し、かつ、光変調層と一对の基板のうちの少なくとも一方との界面において高プレチルト角となる構成

以上のようにして、上記課題をみごとに解決することができることに想到し、本発明に到達したものである。

[0010] すなわち、本発明の一態様は、対向して配置された第一の基板及び第二の基板と、上記第一の基板と上記第二の基板との間に配置された光変調層とを備える光変調装置であって、上記第一の基板及び上記第二の基板の各々は、電極を有し、上記光変調層は、液晶中に形状異方性部材が分散されたものであり、上記液晶中の液晶分子は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記光変調層の厚み方向に沿って振れて配向し、上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記光変調層の厚み方向に沿って変化し、かつ、上記第一の基板側の第一の界面及び上記第二の基板側の第二の界面の少なくとも一方で 7.5° 以上、 90° 以下である光変調装置であってもよい。

[0011] 本発明の別の態様は、上記光変調装置を備える表示装置であってもよい。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、簡素な構成で、光反射状態における光の利用効率を高めることができる光変調装置、及び、上記光変調装置を備える表示装置を提供することができる。

[0013] 本発明の光変調装置が、外光の反射を利用して表示を行う反射表示モードの表示装置に適用される場合は、電圧無印加時の表示をより明るくすることができる。一方、背面側に配置された光源から出射した光を透過させて表示を行う透過表示モードの表示装置に適用された場合は、光源からの光を光源側に効率的に反射するため、電圧無印加時の表示をより暗くすることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]実施形態1の光変調装置を示す断面模式図であり、(a)は電圧印加時の状態を示し、(b)は電圧無印加時の状態を示す。

[図2]実施例1の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図3]実施例2の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図4]実施例3の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図5]実施例4の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図6]実施例1～4の光変調装置における反射率の方位角依存性を示すグラフである。

[図7]実施例2～4の光変調装置における反射率の受光角依存性を示すグラフである。

[図8]実施例5の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図9]実施例6の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を

示す。

[図10]実施形態2の光変調装置を示す断面模式図であり、(a)は電圧印加時の状態を示し、(b)は電圧無印加時の状態を示す。

[図11]光変調装置を用いた反射型カラー表示を説明するための概念図であり、(a)は実施形態1の構成を示し、(b)は実施形態2の構成を示す。

[図12]実施例7の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図13]実施例8の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図14]実施例9の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図15]実施例10の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図16]実施例11の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

[図17]実施例12の光変調装置を示す断面模式図であり、(a)は電圧無印加時の状態を示し、(b)は電圧印加時の状態を示す。

[図18]光変調装置を用いた反射型カラー表示を説明するための概念図であり、(a)は等方性の散乱である場合を示し、(b)は指向性の散乱である場合を示す。

[図19]光変調装置における、一方の基板からの距離とチルト角との関係を示すグラフである。

[図20]比較形態1の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。

発明を実施するための形態

[0015] 以下に実施形態（実施例）を掲げ、本発明について図面を参照して更に詳細に説明するが、本発明はこれらの実施形態（実施例）のみに限定されるものではない。また、各実施形態（実施例）の構成は、本発明の要旨を逸脱しな

い範囲において適宜組み合わせられてもよいし、変更されてもよい。

[0016] 本明細書中、「高プレチルト角」とは、液晶分子のプレチルト角、すなわち、電圧無印加時（電極間に電圧を印加しない、すなわち、光変調層に電圧を印加しない状態）の、光変調層と基板との界面における液晶分子のチルト角が 7.5° 以上、 90° 以下であることを示す。「高プレチルト角配向処理」とは、液晶分子に高プレチルト角を付与する配向処理を示す。配向処理の方法としては特に限定されず、例えば、ラビング法、光配向法等が挙げられる。また、高プレチルト角の付与は、配向処理を施さずに、例えば、垂直配向膜を用いることでも実現することができる。また、本明細書中、略平行とは、2つの方向のなす角度が、 0° 以上、 10° 以下であることを示す。略垂直とは、2つの方向のなす角度が、 80° 以上、 90° 以下であることを示す。

[0017] [実施形態1]

実施形態1は、一对の基板、及び、一对の基板間に配置された光変調層を備えた光変調装置に関し、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合である。

[0018] 図1は、実施形態1の光変調装置を示す断面模式図であり、(a)は電圧印加時の状態を示し、(b)は電圧無印加時の状態を示す。図1に示すように、光変調装置1aは、対向して配置された第一の基板2a、及び、第二の基板2bと、両基板間に配置された光変調層3とを備えている。第一の基板2aは背面側に配置され、第二の基板2bは観察面側（表示面側）に配置されている。第一の基板2aと第二の基板2bとは、シール材（図示せず）を介して互いに貼り合わされている。

[0019] 第一の基板2aは、背面側から観察面側に向かって順に、ガラス基板4a、電極5a、配向膜6aを有している。第二の基板2bは、観察面側から背面側に向かって順に、ガラス基板4b、電極5b、配向膜6bを有している。

[0020] 第一の基板2a、及び、第二の基板2bは、高プレチルト角が付与された基板である。つまり、液晶分子7のチルト角は、電圧無印加時に、光変調層3

と第一の基板 2 a との界面（第一の界面）、及び、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面（第二の界面）で、 7.5° 以上、 90° 以下であり、 30° 以上、 90° 以下であることが好ましく、 45° 以上、 90° 以下であることがより好ましい。液晶分子 7 のチルト角は、電圧無印加時に、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面、及び、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面で同一であってもよいし、異なってもよい。

[0021] 第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b の少なくとも一方は、アクティブマトリックス基板であってもよい。アクティブマトリックス基板は、マトリックス状に配置された複数の画素に配置されたスイッチング素子と、各種配線とを有するものである。スイッチング素子としては、例えば、TFT（Thin Film Transistor：薄膜トランジスタ）素子が用いられる。各種配線としては、例えば、TFT に走査信号を供給するゲートバスライン、TFT に表示信号を供給するソースバスライン、共通配線等が挙げられる。第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b の一方がアクティブマトリックス基板である場合、他方の基板がカラーフィルタ基板であってもよい。これにより、カラー表示を行うことができる。

[0022] 電極 5 a、5 b は平面状電極であり、互いに対向して配置されており、ITO（Indium Tin Oxide：インジウムスズ酸化物）、アルミニウム等の導電材料で形成されている。交流電源で電極 5 a、5 b 間に電圧を印加することによって、光変調層 3 に対して縦電界を印加することができる。実施形態 1 の光変調装置が透過表示モードの表示装置に適用される場合、電極 5 a、5 b は、ITO 等の透明導電材料で形成されることが好ましい。一方、実施形態 1 の光変調装置が反射表示モードの表示装置に適用される場合、外光の入射側（観察面側）の電極 5 b は透明導電材料であることが好ましいが、光変調層 3 よりも背面側に配置された電極 5 a は、透明でなくてもよい。図 1 中、電極 5 a、5 b は平面状に配置されているが、セグメント表示又はパッシブ表示が可能となるように、パターニングされていてもよい。また、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b には、電極 5 a、5 b の光

変調層 3 側に、絶縁層を介して一对の櫛歯電極等の電極が配置されていてもよい。

[0023] 配向膜 6 a、6 b は、垂直配向膜である。垂直配向膜としては、公知の垂直配向性ポリイミド膜（例えば、厚みが 80 nm）を単に成膜したものであってもよい。また、垂直配向膜に高プレチルト角配向処理を施したものであってもよい。高プレチルト角配向処理は、例えば、垂直配向膜にラビング処理を施したり、光配向性の垂直配向膜に対して偏光（例えば、偏光紫外線）を照射したりすることで実現できる。これにより、液晶分子 7 は、電圧無印加時に、高プレチルト角を有するように配向する。また、配向膜 6 a、6 b は、水平配向膜であってもよい。この場合、公知の水平配向膜（水平配向性ポリイミド膜）にラビング処理を施すことによって、例えば、 7.5° 以上、 15° 以下の高プレチルト角を付与することができる。

[0024] 光変調層 3 は、液晶中に形状異方性部材 8 が分散されたものである。液晶分子 7、及び、形状異方性部材 8 は、電極 5 a、5 b によって印加される縦電界に応じて、光変調層 3 中で向きを変える。このため、光変調層 3 は、入射光の透過率を制御することができる。

[0025] 液晶中の液晶分子 7 は、電圧無印加時に、光変調層 3 の厚み方向に沿って振られて配向するものである。すなわち、光変調層 3 中の液晶分子 7 は、第一の基板 2 a と第二の基板 2 b との間で、螺旋状に配向（ツイスト配向）している。液晶は、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して略垂直な方向の螺旋軸を有し、光変調層 3 の厚み方向における螺旋の周期を自発ピッチ P_0 と言う。上述したような高プレチルト角が付与された第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b と組み合わせることで、液晶分子 7 のチルト角は、電圧無印加時に、光変調層 3 の厚み方向に沿って変化する。このような液晶としては、例えば、ネマチック液晶にカイラル剤を混合したカイラルネマチック液晶等が挙げられる。カイラル剤は液晶に振れを付与するものであり、例えば、メルク社製の CB-15 等を利用することができる。自発ピッチ P_0 の逆数は、カイラル剤の濃度 c に比例することが知られており、その比例定数

は、カイラル剤の種類、ネマチック液晶の種類、温度等によって決定される。例えば、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b での液晶分子 7 のプレチルト角が 90° である場合、安定したヘリカル構造を得るためには、液晶のツイスト弾性定数を K_{22} 、ベンド弾性定数 K_{33} 、光変調層 3 の厚みを d とすると、 $2K_{22}/K_{33} > P_0/d$ の関係式を満たせばよく、自発ピッチ P_0 がこの関係式を満たすように、カイラル剤の濃度 c を決定すればよい。また、 d/P_0 を大きくすると、駆動電圧が大きくなり、 $d/P_0 > 2$ とした場合は、フォーカルコニック状態やフィンガープリント状態が現れるために、単純な電圧の印加及び無印加では表示を切り換えられない場合がある。すなわち、上記関係式は、 $K_{33}/2K_{22}$ を小さく抑えることで d/P_0 も小さく抑えることができることも示している。

[0026] ネマチック液晶としては、正の誘電率異方性を有する p 型（ポジ型）の液晶を用いても、負の誘電率異方性を有する n 型（ネガ型）の液晶を用いてもよい。p 型の液晶を用いた場合、液晶分子 7 は電圧印加とともにホメオトロピック配向になり、それに応じて、形状異方性部材 8 の長軸が、第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）に対して略平行な方向から、略垂直な方向へと回転することができる。n 型の液晶を用いた場合、電圧印加とともに、液晶分子 7 が第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）に対して略平行な方向に回転する。また、液晶及び形状異方性部材 8 の誘電率の差も、形状異方性部材 8 の動作に寄与するため、液晶分子 7 の長軸方向の比誘電率は大きいことが好ましく、例えば、10 以上であることが好ましい。

[0027] 形状異方性部材 8 は、電界の方向によって回転を伴う応答をする部材であり、その表面に対して液晶分子 7 が略平行に配向するものであればよい。形状異方性部材 8 は、第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）の表面の法線方向から見たとき、第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）への投影面積が、電圧印加に応じて連続的に変化する形状であればよい。また、形状異方性部材の長軸が第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）に対して平行に配向したときの投影面積は、垂直に配向したときの投影面積の 2 倍以上であることが好ましい。この

ような形状としては、例えば、円盤状等の薄片状（フレーク状）、円柱状、楕円球状等が挙げられる。形状異方性部材 8 の厚みは特に限定されないが、例えば、フレーク状である場合、その厚みは $1\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。形状異方性部材 8 の厚みが小さいほど、垂直に配向したときの投影面積を小さくできるため、高い透過率や散乱の少ない黒表示を得ることができる。更に、形状異方性部材 8 は、光反射性の表面を有するものであることが好ましい。

[0028] 形状異方性部材 8 の材料としては、例えば、金属、半導体、誘電体、及び、それらの複合材料を用いることができる。例えば、形状異方性部材 8 の材料として金属を用いる場合、アルミニウムフレークを用いることができる。また、形状異方性部材 8 は、着色した部材によって形成されてもよく、誘電体多層膜やコレステリック樹脂によって形成されてもよい。

[0029] 形状異方性部材 8 の表面に対して、液晶分子 7 を略平行に配向させるための方法としては、以下の方法が挙げられる。例えば、コレステリック樹脂や金属等の表面張力が大きい材料を用いた場合や、液晶分子 7 が表面に対して略平行に配向するような材質の樹脂やシリカ等の材料で形状異方性部材 8 を被覆（コーティング）した場合には、特別な処理は必要ない。これに対して、疎水性の材料で、液晶分子 7 が表面に対して略平行に配向しない材料を用いた場合には、ディップコート等の方法によって樹脂膜等で形状異方性部材 8 を被膜したり、極性の大きな構造を有する材料を用いたシランカップリング処理によって表面改質を行ったりする。

[0030] 形状異方性部材 8 の比重は、 $1.1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下であることが好ましく、 $3\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下であることがより好ましく、液晶の比重（例えば、 $1\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以下）と同等であることが更に好ましい。形状異方性部材 8 の比重が液晶の比重よりも非常に大きい場合は、形状異方性部材 8 が光変調層 3 中で沈降してしまうことがある。

[0031] 次に、光変調装置 1 a の光透過状態及び光反射状態について説明する。以下では、形状異方性部材 8 として、フレーク状の部材（以下、フレーク 8 とも

言う。)を用いた場合について説明する。

[0032] 図1の(a)は、電極5a、5b間に電圧を印加した状態を示したものである。なお、図1の(a)は、p型の液晶を用いた場合について示されている。図1の(a)に示すように、誘電泳動力、クーロン力、又は、電気エネルギー的な観点から説明される力、及び、液晶との界面エネルギーを極小にする力によって、フレーク8はその長軸が電気力線に対して略平行になるように回転する。例えば、フレーク8として、金属の薄片のような可視光反射性を有する材料を用いれば、フレーク8の反射面が第一の基板2a、及び、第二の基板2bに対して略垂直に配向する(以下、縦配向とも言う。)ため、入射光は直接透過するか、フレーク8の反射面で反射した後に、入射側とは反対側に透過する。例えば、第一の基板2a側から光が入射する場合について、光の経路を図1の(a)中の矢印で示した。以上のようにして、光透過状態を実現することができる。

[0033] このような光透過状態において、例えば、光変調装置1aの背面側にバックライト等の光源を配置すれば、透過表示モードの表示装置を実現することができる。

[0034] 図1の(b)は、電極5a、5b間に電圧を印加しない状態を示したものである。図1の(b)に示すように、液晶分子7は、光変調層3の厚み方向に沿って振れて配向するとともに、第一の基板2a、及び、第二の基板2bに向かって振れながら、各々の基板に付与されたプレチルト角を有する状態に徐々に近づくように配向する。更に、フレーク8が、その表面に対して液晶分子7が略平行に配向するように移動した結果、フレーク8は第一の基板2a、及び、第二の基板2bから離れ、その反射面が第一の基板2a、及び、第二の基板2bに対して、略平行に配向し(以下、横配向とも言う。)、又は、傾いて配向し、光変調層3の厚み方向の中央付近に集まる。その結果、フレーク8の光変調層3の厚み方向の分布が狭まる。このため、入射光はフレーク8の反射面で入射側へ反射され、入射角の大きな光であっても、フレーク8間をすり抜けることなく入射側へ効率的に反射される。例えば、第一

の基板 2 a 側から光が入射する場合について、光の経路を図 1 の (b) 中の矢印で示した。以上のようにして、光の利用効率が高い光反射状態を実現することができる。更に、フレーク 8 が同一平面上に横配向する場合に、最も明るい（光の利用効率が最も高い）光反射状態が得られる。

[0035] 実施形態 1 の光変調装置が表示装置に適用される場合は、このような光透過状態及び光反射状態において、例えば、第一の基板 2 a の背面側に着色層を配置すれば、フレーク 8 が横配向するときはフレーク 8 での反射色が表示され、フレーク 8 が縦配向するときは着色層の色が表示される。例えば、着色層の色を黒色とし、フレーク 8 を金属の薄片とすると、フレーク 8 が横配向するときは金属の薄片の反射光による表示が得られ、フレーク 8 が縦配向するときは黒表示が得られる。更に、金属の薄片の平均径を、例えば $20\ \mu\text{m}$ 以下としたり、フレーク 8 の表面を光散乱性にし、フレーク 8 の輪郭を凹凸の激しい形状にすることで、フレーク 8 での反射光は散乱され、白表示を得ることができる。また、第一の基板 2 a の背面側に正反射又は散乱反射する反射層を配置し、フレーク 8 を着色部材で形成すれば、フレーク 8 が横配向するときは着色されたフレーク 8 の色の表示が得られ、フレーク 8 が縦配向するときは反射層での反射光の表示が得られる。光変調装置 1 a を携帯電話等の非表示面に配置することで、携帯電話のボディの色と、着色されたフレーク 8 の色とを切り換えて表示することもできる。また、印加電圧の大きさによって、光透過状態と光反射状態との間の状態のフレーク 8 の傾きを利用して中間調表示を行うことができる。

[0036] 後述する実施形態 2 の光変調装置のように、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与されていない場合、例えば、表面エネルギーが高い水平配向膜を用いた場合は、初期（電圧無印加時）及び電圧駆動後に、フレークが基板に貼り付き動作しないことがある。この現象は、特に表面エネルギーが高い材料から形成されたフレークを用いる場合に顕著となる。これに対して、実施形態 1 の光変調装置のように、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与される場合は、上述したように、フレークは基板から離れて配向するため、基

板へ貼り付くことがなく、良好な初期配向特性及び繰り返し動作特性を得ることができる。

[0037] 以下に、実施形態 1 の光変調装置を実際に作製した実施例を示す。以下の各実施例では、形状異方性部材 8 として、フレーク状の部材（フレーク 8）を用いた。

[0038] （実施例 1）

実施例 1 は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、高プレチルト角の付与方法として高プレチルト角配向処理を用いた場合である。

[0039] 図 2 は、実施例 1 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。高プレチルト角配向処理として、垂直配向膜（配向膜 6 a、6 b）にラビング処理を施し、液晶分子 7 がプレチルト角 84° で配向する第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b を得た。その後、両基板を、各々のラビング方向が逆平行（アンチパラレル）になるように貼り合わせ、液晶とフレーク 8 との混合物を両基板間に注入することによって、光変調層 3 を形成した。貼り合わせ後の光変調層 3 の厚みは、約 $20\ \mu\text{m}$ であった。

[0040] 液晶とフレーク 8 との混合物としては、液晶中にフレーク 8 が、混合物全体の 3 wt % となるように分散されたものを用いた。フレーク 8 としては、アルミニウムフレークを用い、その長軸の長さを約 $10\ \mu\text{m}$ とした。フレーク 8 には、液晶分子 7 が表面に対して略平行に配向するようなコーティングを施した。液晶としては、p 型の液晶を用い、その自発ピッチ P_o を $40\ \mu\text{m}$ とした。

[0041] 以上により、図 2 に示すような実施例 1 の光変調装置が得られた。実施例 1 の光変調装置においては、 d/P_o が 0.5 であり、ツイスト角が 180° であった。なお、ツイスト角とは、第一の基板 2 a の表面に位置する液晶分子 7 の長軸を基板に投影したものと、第二の基板 2 b の表面に位置する液晶分子 7 の長軸を基板に投影したものとがなす実質上又は設定上の角度を示す。また、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b の一方にフォトスペーサー

を形成し、両基板を、滴下された混合物（液晶とフレイク 8 との混合物）を介して真空中で貼り合わせる、いわゆる滴下注入法によって貼り合わせてもよい。

[0042] 液晶分子 7 は、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面、及び、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面付近から、光変調層 3 の厚み方向に沿って振れるように配向する。このため、このような領域では、フレイク 8 は、そのすべての表面に対して液晶分子 7 が略平行に配向するように存在することができない。よって、フレイク 8 は、光変調層 3 の厚み方向の中央付近に集まり、フレイク 8 の反射面の法線方向と液晶の螺旋軸とが略平行となるように配向する。このとき、液晶の螺旋軸は、光変調層 3 の厚み方向の中央付近において、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b の法線方向に対してほとんど傾いていないため、フレイク 8 は、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して略平行に配向する。例えば、周波数 60 Hz、振幅 3 V の矩形波を光変調層 3 に印加することによってフレイク 8 を縦配向させた後、振幅を 0 V（電圧 0 V）とすると、フレイク 8 は、1.6 秒の応答時間で横配向の状態に戻った。

[0043] （実施例 2）

実施例 2 は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 1 との違いは、プレチルト角の大きさ、及び、液晶の自発ピッチである。実施例 2 の光変調装置は、これらの構成以外、実施例 1 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0044] 図 3 は、実施例 2 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。高プレチルト角配向処理として、外部応力によって変形しやすい垂直配向膜（配向膜 6 a、6 b）にラビング処理を施し、液晶分子 7 がプレチルト角 45° で配向する第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b を得た。その後、両基板を、各々のラビング方向が逆平行（アンチパラレル）になるように貼り合わせ、液晶とフレイク 8 との混合物を両基板間に注入することによって、光変調層 3 を形成した。貼り合わせ後の光変調層 3 の厚みは、約

20 μm であった。

[0045] 液晶としては、p型の液晶を用い、その自発ピッチ P_o を20 μm とした。

[0046] 以上により、図3に示すような実施例2の光変調装置が得られた。実施例2の光変調装置においては、 d/P_o が1であり、ツイスト角が360°であった。

[0047] 実施例2の光変調装置においては、実施例1で既に説明したものと同様の理由で、フレーク8は、第一の基板2a、及び、第二の基板2bに対して略平行に配向する。また、エネルギー的な観点から、実施例2における液晶分子7の配向は、実施例1における液晶分子7の配向よりも安定的である。更に、実施例2で用いた液晶の自発ピッチ P_o は、実施例1で用いた液晶の自発ピッチ P_o よりも小さいため、実施例2におけるフレーク8は、実施例1におけるフレーク8よりも横配向しやすい。例えば、周波数60 Hz、振幅3 Vの矩形波を光変調層3に印加することによってフレーク8を縦配向させた後、振幅を0 V（電圧0 V）とすると、フレーク8は、0.25秒という実施例1よりも速い応答時間で横配向の状態に戻った。言い換えると、例えば、長軸の長さが約10 μm であるフレーク8に対して、液晶の自発ピッチ P_o を20 μm 以下とすることで、より速い応答時間が得られる。

[0048] （実施例3）

実施例3は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例1との違いは、プレチルト角の大きさ、及び、一对の基板の貼り合わせ方向である。実施例3の光変調装置は、これらの構成以外、実施例1の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0049] 図4は、実施例3の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。高プレチルト角配向処理として、外部応力によって変形しやすい垂直配向膜（配向膜6a、6b）にラビング処理を施し、液晶分子7がプレチルト角77°で配向する第一の基板2a、及び、第二の基板2bを得た。その後、両基板を、各々のラビング方向が平行（平行）になるように貼り合わせ、液晶とフレーク8との混合物を両基板間に注入することによって

、光変調層 3 を形成した。貼り合わせ後の光変調層 3 の厚みは、約 $20\ \mu\text{m}$ であった。

[0050] 以上により、図 4 に示すような実施例 3 の光変調装置が得られた。実施例 3 の光変調装置においては、 d/P_0 が 0.5 であり、ツイスト角が 180° であった。

[0051] 実施例 3 の光変調装置においては、光変調層 3 の厚み方向の中央付近における液晶分子 7 の長軸方向が、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して傾いているため、フレイク 8 の反射面は、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して傾いて配向する。

[0052] (実施例 4)

実施例 4 は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 1 との違いは、一对の基板の貼り合わせ方向、及び、液晶の自発ピッチである。実施例 4 の光変調装置は、この構成以外、実施例 1 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0053] 図 5 は、実施例 4 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。高プレチルト角配向処理として、垂直配向膜（配向膜 6 a、6 b）にラビング処理を施し、液晶分子 7 がプレチルト角 84° で配向する第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b を得た。その後、両基板を、各々のラビング方向が平行（平行）になるように貼り合わせ、液晶とフレイク 8 との混合物を両基板間に注入することによって、光変調層 3 を形成した。貼り合わせ後の光変調層 3 の厚みは、約 $20\ \mu\text{m}$ であった。

[0054] 液晶としては、p 型の液晶を用い、その自発ピッチ P_0 を $20\ \mu\text{m}$ とした。

[0055] 以上により、図 5 に示すような実施例 4 の光変調装置が得られた。実施例 4 の光変調装置においては、 d/P_0 が 1 であり、ツイスト角が 180° で安定した。これは、実施例 4 の光変調装置に用いられた液晶やラビング条件では、液晶分子 7 がツイスト角 360° の状態で配向するよりも、ツイスト角 180° の状態で配向した方が、弾性自由エネルギーが小さいためであると考えられる。

[0056] 実施例 4 の光変調装置においては、光変調層 3 の厚み方向の中央付近における液晶分子 7 の長軸方向が、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して傾いているため、フレイク 8 の反射面は、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 b に対して傾いて配向する。

[0057] [評価結果]

実施例 1 ～ 4 の光変調装置について、反射率の方位角依存性を図 6 に示した。図 6 は、実施例 1 ～ 4 の光変調装置における反射率の方位角依存性を示すグラフである。

[0058] 反射率としては、各実施例の光変調装置の法線方向（第一の基板 2 a（第二の基板 2 b）の法線方向）から光を照射して、各光変調装置で反射された光を極角 30° の方向で受光したときの反射率を、最も強い反射が得られた方位角における反射率を 1 とする規格化を行って算出した。反射率の測定器としては、大塚電子社製の LCD-5200 を用いた。方位角については、光の入射側に配置された基板のラビング方向の逆方向を方位角 0° とし、観察面側から見たときの反時計回りの方向を正とした。

[0059] 図 6 に示すように、実施例 1、2 の光変調装置においては、実施例 3、4 の光変調装置と比較して、反射光の方位角依存性が小さく、より自然な視認性を有する反射が得られた。これは、実施例 1、2 の光変調装置において、実施例 3、4 の光変調装置と比較して、横配向時のフレイク 8 の反射面の傾きが小さく、光変調装置の法線方向から入射された光が、光変調装置の法線方向付近に反射されるためである。一方、実施例 3、4 の光変調装置においては、実施例 1、2 の光変調装置と比較して、反射光の方位角依存性が大きかった。これは、実施例 3、4 の光変調装置において、実施例 1、2 の光変調装置と比較して、フレイク 8 の反射面の傾きが大きく、光変調装置の法線方向から入射された光が、一定の方位角に傾いて反射されるためである。

[0060] このようなフレイク 8 の反射面の傾きについて考慮すると、光変調装置は、フレイク 8 の反射面の法線方向が光変調装置の法線方向に対して傾くように配置されることが好ましい。これにより、フレイク 8 の反射面の傾きを利用

して、光変調装置へ斜め方向から入射した光を、光変調装置の法線方向へ効率的に反射することができる。そして、このような構成を反射表示モードの表示装置に適用すれば、より明るい表示が得られる。このような構成は、フレック8の反射面の法線方向が、例えば、観察者の反対側に向くようにしたり、光変調装置を立てて設置する際には、その上方に向くようにしたりすることで実現できる。この場合、反射表示モードの表示装置で反射される外光は、観察者の反対側、又は、光変調装置を立てて設置する際の上方に強く分布していることが多いため、より明るい光反射状態を得ることができる。

[0061] 次に、実施例2～4の光変調装置について、各光変調装置の法線方向から光を照射したときに強い反射が得られる方位角における、反射率の受光角依存性を図7に示した。図7は、実施例2～4の光変調装置における反射率の受光角依存性を示すグラフである。

[0062] 反射率としては、各実施例の光変調装置の法線方向（第一の基板2a（第二の基板2b）の法線方向）から光を照射して、各光変調装置で反射された光を方位角270°又は360°の方向で受光したときの反射率を、最も強い反射が得られた極角における反射率を1とする規格化を行って算出した。反射率の測定器としては、大塚電子社製のLCD-5200を用いた。方位角については、光の入射側に配置された基板のラビング方向の逆方向を方位角0°とし、観察面側から見たときの反時計回りの方向を正とした。

[0063] 図7に示すように、実施例3の光変調装置においては、極角70°の方向に強い反射光が検出された。実施例4の光変調装置においては、極角40°の方向に強い反射光が検出された。以上の結果から、実施例3の光変調装置に対しては、極角70°の方向に外部光源を配置すると、外部光源からの外光を光変調装置の法線方向へ効率的に反射することができる。また、実施例4の光変調装置に対しては、極角40°の方向に外部光源を配置すると、外部光源からの外光を光変調装置の法線方向へ効率的に反射することができる。そして、これらの構成を反射表示モードの表示装置に適用すれば、より明るい表示が得られる。これらの構成は、例えば、導光型のフロントライトを用

いる際に発光ダイオード（LED：Light Emitting Diode）の入射辺の方位を上記方位（光変調装置の法線方向から光を照射したときに強い反射が得られる方位）と一致させたり、光変調装置をポスターのように立てて設置する際に夜間照明を上記角度（光変調装置の法線方向から光を照射したときに強い反射が得られる方位角であり、極角は 70° 又は 40° ）から当てたりすることで実現できる。

[0064] （実施例5）

実施例5は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例1との違いは、高プレチルト角の付与方法として、高プレチルト角配向処理の代わりに垂直配向膜を用いたこと、プレチルト角の大きさ、及び、液晶の自発ピッチである。実施例5の光変調装置は、これらの構成以外、実施例1の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0065] 図8は、実施例5の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。垂直配向膜（配向膜6a、6b）を形成することで、液晶分子7がプレチルト角 90° で配向する第一の基板2a、及び、第二の基板2bを得た。その後、両基板を貼り合わせ、液晶とフレーク8との混合物を両基板間に注入することによって、光変調層3を形成した。貼り合わせ後の光変調層3の厚みは、約 $20\mu\text{m}$ であった。

[0066] 液晶としては、p型の液晶を用い、その自発ピッチ P_0 を $15\mu\text{m}$ とした。

[0067] 以上により、図8に示すような実施例5の光変調装置が得られた。実施例5の光変調装置においては、 d/P_0 が約1.3であり、ツイスト角が 360° で安定した。ちなみに、上述したように、 $2K_{22}/K_{33} > P_0/d$ の関係式を満たせば、安定したヘリカル構造が得られることが知られており、この関係式から大きく外れた場合は、ヘリカル構造が得られず、液晶分子7は一樣に垂直配向してしまうことが確認された。

[0068] 実施例5の光変調装置によれば、高プレチルト角の付与方法として垂直配向膜が単に用いられるため、ラビング処理等の高プレチルト角配向処理の工程

を省略することができる。液晶分子 7 は、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面、及び、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面付近からツイストしながら、両界面付近での垂直配向状態から光変調層 3 の厚み方向の中央付近での略水平配向状態へ向かって、光変調層 3 の厚み方向に沿って振れるように配向する。このため、フレーク 8 は、光変調層 3 の厚み方向の中央付近の略同一平面上に集まりやすく、光の利用効率が高い光反射状態を得ることができる。

[0069] (実施例 6)

実施例 6 は、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 1 との違いは、隔壁を配置したことである。実施例 6 の光変調装置は、この構成以外、実施例 1 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0070] 図 9 は、実施例 6 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。実施例 6 の光変調装置においては、図 9 に示すように、第二の基板 2 b の光変調層 3 側の表面上に、フレーク 8 を遮る隔壁 1 2 が配置されている。

[0071] フレーク 8 が重力等の力によって第一の基板 2 a (第二の基板 2 b) に対して平行に移動すると、フレーク 8 の密度に偏りが生じ、その結果、表示 (光透過状態及び光反射状態) の均一性も低下してしまうことがある。しかしながら、実施例 6 の光変調装置によれば、隔壁 1 2 が配置されているため、フレーク 8 の移動を防止することができ、フレーク 8 の密度に偏りが生じることを防止することができる。

[0072] 隔壁 1 2 の材料としては、上記特許文献 4 に開示された材料と同様に、感光性樹脂を用いた。隔壁 1 2 としては、上記特許文献 4 に開示された形状や材料を選択することができる。隔壁 1 2 の高さは、光変調層 3 の厚みと同等としてもよいが、フレーク 8 は光変調層 3 の厚み方向の所定の位置 (中央付近) に集まっているため、フレーク 8 を遮るような高さに設定されればよい。よって、隔壁 1 2 の高さを、光変調層 3 の厚みよりも低く設定することができる。

きる。これにより、隔壁 1 2 の幅も狭く設定することができ、表示に使える面積比（開口率）を大きくすることができる。その結果、例えば、実施例 6 の光変調装置が反射表示モードの表示装置に適用される場合は、明るくコントラストの高い表示を得ることができる。また、隔壁 1 2 の高さを光変調層 3 の厚みと同等に設定すると、基板の貼り合わせ時に、個々の隔壁で囲まれた領域（空間）内に液晶とフレイク 8 との混合物を充填するのは困難であるが、隔壁 1 2 の高さを光変調層 3 の厚みよりも低く設定することで、液晶とフレイク 8 との混合物は相対的に広がりやすくなるため、プロセス上の利点もある。このような効果を十分に奏する観点からは、隔壁 1 2 の高さは、光変調層 3 の厚みの半分以上に設定されることが好ましい。例えば、実施形態 1 の光変調装置において、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面でのプレチルト角と、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面でのプレチルト角とが異なれば、フレイク 8 の分布が第一の基板 2 a 側、又は、第二の基板 2 b 側に多少偏るため、隔壁 1 2 の高さを光変調層 3 の厚みの半分以上に設定することができる。この場合、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面でのプレチルト角と、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面でのプレチルト角との差は、 10° 以上であることが好ましく、 80° 以上であることがより好ましい。実施例 2 ～ 5 の光変調装置においても、一方の基板（第一の基板 2 a、又は、第二の基板 2 b）の光変調層 3 側の表面上に隔壁 1 2 を配置することで、実施例 6 の光変調装置と同様な効果が得られる。

[0073] [実施形態 2]

実施形態 2 は、一对の基板、及び、一对の基板間に配置された光変調層を備えた光変調装置に関し、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合である。実施形態 2 の光変調装置は、この構成以外、実施形態 1 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0074] 図 10 は、実施形態 2 の光変調装置を示す断面模式図であり、(a) は電圧印加時の状態を示し、(b) は電圧無印加時の状態を示す。図 10 に示すように、光変調装置 1 b は、対向して配置された第一の基板 2 a、及び、第二

の基板 2 c と、両基板間に配置された光変調層 3 とを備えている。第一の基板 2 a は背面側に配置され、第二の基板 2 c は観察面側（表示面側）に配置されている。第一の基板 2 a と第二の基板 2 c とは、シール材（図示せず）を介して互いに貼り合わされている。

[0075] 第一の基板 2 a は、背面側から観察面側に向かって順に、ガラス基板 4 a、電極 5 a、配向膜 6 a を有している。第二の基板 2 c は、観察面側から背面側に向かって順に、ガラス基板 4 b、電極 5 b、配向膜 6 c を有している。

[0076] 第一の基板 2 a は、高プレチルト角が付与された基板である。つまり、液晶分子 7 のチルト角は、電圧無印加時に、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面（第一の界面）で、 7.5° 以上、 90° 以下であり、 30° 以上、 90° 以下であることが好ましく、 45° 以上、 90° 以下であることがより好ましい。

[0077] 第二の基板 2 c は、高プレチルト角が付与されていない基板である。つまり、液晶分子 7 のチルト角は、電圧無印加時に、光変調層 3 と第二の基板 2 c との界面（第二の界面）で、 0° 以上、 7.5° 未満であり、 0° 以上、 6° 以下であることが好ましく、 0° 以上、 3° 以下であることがより好ましい。

[0078] 配向膜 6 c は、水平配向膜である。水平配向膜としては、公知の水平配向性ポリイミド膜（例えば、厚みが 80 nm ）を単に成膜したものであってもよい。また、水平配向膜にラビング処理を施すことによって、例えば、 2° 以上、 7.5° 未満のプレチルト角を付与することができる。他には、光配向性の水平配向膜に対して偏光（例えば、偏光紫外線）を照射することによって、例えば、 0° 以上、 3° 以下のプレチルト角を付与することができる。

[0079] 形状異方性部材 8 の表面に対して、液晶分子 7 を略平行に配向させるための方法としては、実施形態 1 で既に説明した方法が挙げられる。形状異方性部材 8 の表面に対して、液晶分子 7 を略垂直に配向させるための方法としては、以下の方法が挙げられる。例えば、アルキル基やフッ素含有基を含むポリイミド膜等の垂直配向膜を、スピンコートやディップコート等の方法によっ

て成膜したり、液晶分子 7 の垂直配向を得るために用いられることで知られる、適切な分子量のアルキル基を含む材料によるシランカップリング処理が行われたりする。

[0080] 次に、光変調装置 1 b の光反射状態について説明する。以下では、形状異方性部材 8 として、フレーク状の部材（フレーク 8）を用いた場合について説明する。光変調装置 1 b の光透過状態については、実施形態 1 の光変調装置（光変調装置 1 a）の光透過状態と同様であるため、説明を省略する。

[0081] 図 10 の（b）は、電極 5 a、5 b 間に電圧を印加しない状態を示したものである。フレーク 8 として、その表面に対して液晶分子 7 が略平行に配向するものを用いた場合、図 10 の（b）に示すように、液晶分子 7 は、光変調層 3 の厚み方向に沿って振れて配向するとともに、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 c に向かって振れながら、各々の基板に付与されたプレチルト角を有する状態に徐々に近づくように配向する。更に、フレーク 8 が、その表面に対して液晶分子 7 が略平行に配向するように移動した結果、フレーク 8 は横配向し、第二の基板 2 c 側に集まる。その結果、フレーク 8 の光変調層 3 の厚み方向の分布が狭まる。このため、入射光はフレーク 8 の反射面で入射側へ反射され、入射角の大きな光であっても、フレーク 8 間をすり抜けることなく入射側へ効率的に反射される。例えば、第一の基板 2 a 側から光が入射する場合について、光の経路を図 10 の（b）中の矢印で示した。以上のようにして、光の利用効率が高い光反射状態を実現することができる。

[0082] また、フレーク 8 として、その表面に対して液晶分子 7 が略垂直に配向するものを用いた場合は、フレーク 8 は横配向し、第一の基板 2 a 側に集まる。その結果、フレーク 8 の光変調層 3 の厚み方向の分布が狭まるため、光の利用効率が高い光反射状態を実現することができる。

[0083] 実施形態 2 の光変調装置においては、低電圧（例えば、電圧 0 V）の状態では、例えば、図 10 の（b）に示すように、フレーク 8 は第二の基板 2 c 近傍に横配向して集まる。この場合、第二の基板 2 c 近傍の液晶分子 7 のチルト角が制御可能であるため、横配向するフレーク 8 の傾きを自由に制御するこ

とができる。実施形態2のように、第二の基板2c近傍の液晶分子7のチルト角を小さく設定した場合は、方位角異方性のない反射が得られる。これに対して、第二の基板2c近傍の液晶分子7のチルト角を大きく設定した場合は、実施形態1のような構成とすることができる。液晶分子7のチルト角を大きく設定する方法としては、例えば、水平配向膜（配向膜6c）にラビング処理を施すことによって、 7.5° 以上、 15° 以下の高プレチルト角を付与する方法が挙げられる。また、横配向するフレーク8の傾きが制御可能であるという効果は、実施形態1の光変調装置において、光変調層3と第一の基板2aとの界面でのプレチルト角と、光変調層3と第二の基板2bとの界面でのプレチルト角とが異なれば、少なからず得られる。この場合、光変調層3と第一の基板2aとの界面でのプレチルト角と、光変調層3と第二の基板2bとの界面でのプレチルト角との差は、 10° 以上であることが好ましく、 80° 以上であることがより好ましい。また、一方の基板のプレチルト角を、例えば 7.5° 未満のように小さく抑えた場合は、液晶はヘリカル構造を得やすい。そのため、ベンド弾性定数 K_{33} の大きな液晶を用いてもよく、このような構成とすることによって、フレーク8の分布がプレチルト角の低い基板側に偏りやすくなり、電圧0Vにした時の応答速度を速くすることができる。

[0084] 次に、実施形態2の光変調装置において、実施形態1の光変調装置と比較しつつ、観察面側の基板（第二の基板2b、2c）にカラーフィルタ層が配置された場合の反射型カラー表示について説明する。図11は、光変調装置を用いた反射型カラー表示を説明するための概念図であり、（a）は実施形態1の構成を示し、（b）は実施形態2の構成を示す。実施形態1の構成においては、図11の（a）中の矢印（光の経路）で示すように、入射光が透過する色画素（カラーフィルタ層9G）と、フレーク8の反射面で反射された光が透過する色画素（カラーフィルタ層9R）とが異なる場合がある。特に、光変調層3の厚みが大きい場合や、高精細である場合は、このような各色画素（カラーフィルタ層9G、9R）が異なる問題が顕著となり、カラーフ

ィルタ層 9 G、9 R とフレーク 8 との間の視差によって、色純度の低下や、明るさの低下が問題となり得る。ここで、明るさの低下とは、異なる吸収スペクトルの層を光が透過することによって発生するものであり、例えば、カラーフィルタ層 9 G を透過した緑色の光が、カラーフィルタ層 9 R を透過することで吸収されてしまうようなものである。これに対して、実施形態 2 の構成においては、図 11 の (b) 中の矢印 (光の経路) で示すように、入射光が透過する色画素 (カラーフィルタ層 9 G) と、フレーク 8 の反射面で反射された光が透過する色画素 (カラーフィルタ層 9 G) とが同じである。これは、カラーフィルタ層 9 G、9 R とフレーク 8 とが実質的に密接しているためであり、両者の間で視差が生じず、明るく色純度の高い反射型カラー表示が得られる。また、このような反射型カラー表示が得られるという効果は、実施形態 1 の光変調装置において、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面でのプレチルト角と、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面でのプレチルト角とが異なれば、少なからず得られる。この場合、光変調層 3 と第一の基板 2 a との界面でのプレチルト角と、光変調層 3 と第二の基板 2 b との界面でのプレチルト角との差は、 10° 以上であることが好ましく、 80° 以上であることがより好ましい。

[0085] 図 10 の (b) に示すような状態において、例えば、フレーク 8 の界面エネルギー、及び、配向膜 6 c の界面エネルギーを液晶より高くして、フレーク 8 と配向膜 6 c との間に弱い接着力を付与することができる。また、例えば、フレーク 8 の表面をイオン解離性の材料や極性の強い材料で修飾することによってフレーク 8 を帯電させて、電極 5 a、5 b 間に DC 電圧を印加することによってフレーク 8 を第二の基板 2 c に貼り付ける力を付与することもできる。この場合、例えば、電極 5 a、5 b 間に AC 電圧を印加することによってフレーク 8 が縦配向しようとする力と、フレーク 8 を第二の基板 2 c に貼り付ける力とのバランスから、フレーク 8 が縦配向する閾値電圧を得ることができる。各々のフレーク 8 の界面エネルギー及び帯電量に分布を持たせることによって、各々のフレーク 8 で異なる閾値電圧を設定することがで

きるため、例えば、実施形態2の光変調装置が表示装置に適用される場合は、安定した中間調表示を得ることができる。

[0086] なお、図10に示した構成においては、第一の基板2aを背面側に、第二の基板2cを観察面側に配置しているが、両基板を逆に配置しても光変調装置の特性に変化はない。

[0087] 以下に、実施形態2の光変調装置を実際に作製した実施例を示す。以下の各実施例では、形状異方性部材8として、フレーク状の部材（フレーク8）を用いた。

[0088] （実施例7）

実施例7は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、高プレチルト角の付与方法として高プレチルト角配向処理を用いた場合である。

[0089] 図12は、実施例7の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。垂直配向膜（配向膜6a）を形成することで、液晶分子7がプレチルト角 90° で配向する第一の基板2aを得た。また、水平配向膜（配向膜6c）を形成することで、液晶分子7がプレチルト角 5° で配向する第二の基板2cを得た。その後、両基板を貼り合わせ、液晶とフレーク8との混合物を両基板間に注入することによって、光変調層3を形成した。貼り合わせ後の光変調層3の厚みは、約 $20\mu\text{m}$ であった。

[0090] 液晶とフレーク8との混合物としては、液晶中にフレーク8が、混合物全体の3wt%となるように分散されたものを用いた。フレーク8としては、アルミニウムフレークを用い、その長軸の長さを約 $10\mu\text{m}$ とした。フレーク8には、液晶分子7が表面に対して略平行に配向するようなコーティングを施した。液晶としては、p型の液晶を用い、その自発ピッチ P_0 を $20\mu\text{m}$ とした。

[0091] 以上により、図12に示すような実施例7の光変調装置が得られた。実施例7の光変調装置においては、 d/P_0 が1であり、ツイスト角が 360° であった。なお、第一の基板2a、及び、第二の基板2cの一方にフォトスペ

ーサーを形成し、両基板を、滴下された混合物（液晶とフレーク 8 との混合物）を介して真空中で貼り合わせる、いわゆる滴下注入法によって貼り合わせてもよい。

[0092] （実施例 8）

実施例 8 は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 7 との違いは、フレークの表面処理、及び、液晶である。実施例 8 の光変調装置は、これらの構成以外、実施例 7 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0093] 図 1 3 は、実施例 8 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。実施例 8 の光変調装置においては、図 1 3 に示すように、実施例 7 の光変調装置に対して、第一の基板 2 a、及び、第二の基板 2 c が逆に配置されている。

[0094] フレーク 8 には、液晶分子 7 が表面に対して略垂直に配向するような処理を施した。液晶としては、n 型の液晶を用いた。

[0095] 実施例 8 の光変調装置においては、図 1 3 に示すように、第一の基板 2 a 側にフレーク 8 を横配向させて集めることができる。これは、このようなフレーク 8 の位置が、フレーク 8 の周囲のすべての液晶分子 7 がフレーク 8 の表面に対して略垂直に配向可能な位置であり、ここでフレーク 8 が横配向するためである。電極 5 a、5 b 間に電圧を印加すると、液晶分子 7 が第一の基板 2 a（第二の基板 2 c）に対して略平行な方向に回転するにつれて、フレーク 8 は縦配向する。この場合、カイラル剤を含まない液晶を用いて、電圧を印加したときに液晶分子 7 がホモジニアス配向するようにした方が、フレーク 8 の縦配向が得やすい。しかしながら、カイラル剤を含む液晶を用いる場合であっても、 $d/P_0 < 1$ 程度であれば、誘電泳動力、クーロン力、又は、電気エネルギー的な観点から説明される力によって、フレーク 8 を縦配向させることができる。上述したような電圧印加時の駆動は、実施例 1～6 の光変調装置においても行うことができる。ただし、フレーク 8 が一方の基板側に集まることによる効果を得ようとする場合は、帯電性を有するフレー

ク 8 を用いて D C 電圧を印加する等の方法によって、フレーク 8 を電気泳動させて一方の基板側に集める。

[0096] (実施例 9)

実施例 9 は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 8 との違いは、液晶、及び、高プレチルト角が付与された基板側に櫛歯電極を配置したことである。実施例 9 の光変調装置は、これらの構成以外、実施例 8 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0097] 図 1 4 は、実施例 9 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。実施例 9 の光変調装置においては、図 1 4 に示すように、第一の基板 2 a の電極 5 a の光変調層 3 側に、絶縁層 1 0 を介して一对の櫛歯電極 1 1 a、1 1 b が配置されている。

[0098] 絶縁層 1 0 の材料としては、窒化ケイ素 (S i N) を用いた。絶縁層 1 0 の材料としては、その他に、二酸化ケイ素 (S i O₂) 及び窒化ケイ素 (S i N) の積層膜等を用いることができる。櫛歯電極 1 1 a、1 1 b の構造としては、上記特許文献 6 に開示された構造を用いた。その他の構造としては、F F S モードの構造が挙げられる。液晶としては、p 型の液晶を用いた。

[0099] 実施例 9 の光変調装置においては、実施例 8 で既に説明したものと同様の理由で、電圧無印加時には、フレーク 8 は横配向するが、櫛歯電極 1 1 a、1 1 b 間に電圧を印加すると、液晶分子 7 は電気力線に沿って倒れる。この場合、液晶分子 7 の長軸方向の比誘電率を小さく、例えば、7 以下に設定すれば、誘電泳動力、クーロン力、又は、電気エネルギー的な観点から説明される力を抑えることができ、櫛歯電極 1 1 a、1 1 b 間に電圧を印加したときの液晶分子 7 の配向によって、フレーク 8 を縦配向させることができる。

[0100] (実施例 1 0)

実施例 1 0 は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 7 との違いは、高プレチルト角が付与されていない基板側に櫛歯電極を配置したことである。実施例 1 0 の光変調装置は、この構成以外、実施

例 7 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0101] 図 15 は、実施例 10 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。実施例 10 の光変調装置においては、図 15 に示すように、第二の基板 2 c の電極 5 b の光変調層 3 側に、絶縁層 10 を介して一对の櫛歯電極 11 a、11 b が配置されている。

[0102] 絶縁層 10 の材料としては、窒化ケイ素 (SiN) を用いた。絶縁層 10 の材料としては、その他に、二酸化ケイ素 (SiO₂) 及び窒化ケイ素 (SiN) の積層膜等を用いることができる。櫛歯電極 11 a、11 b の構造としては、上記特許文献 6 に開示された構造を用いた。その他の構造としては、FFS モードの構造が挙げられる。櫛歯電極 11 a、11 b の長軸方向と、液晶分子 7 の配向方向とは直交することが好ましい。例えば、水平配向膜 (配向膜 6 c) をラビングする場合は、櫛歯電極 11 a、11 b の長軸方向とラビング方向とが直交することが好ましい。

[0103] 実施例 10 の光変調装置によれば、フレーク 8 に対して、第二の基板 2 c に対して略垂直な方向の縦電界と、第二の基板 2 c に対して略平行な方向の横電界とを印加することができる。実施例 10 の光変調装置のように、p 型の液晶を用いた場合、縦電界を印加すれば、フレーク 8 を縦配向させることができる。また、横電界を印加すれば、第二の基板 2 c 近傍の液晶分子 7 が、電界、及び、配向膜 6 c のアンカリング力によって、第二の基板 2 c に対して略平行に配向するとともに、フレーク 8 を横配向させることができる。実施例 10 の光変調装置によれば、フレーク 8 の縦配向及び横配向の両方とも電圧によって操作することができるため、高速駆動が可能である。

[0104] 実施例 10 の光変調装置においては、フレーク 8 として、その表面に対して液晶分子 7 が略平行に配向するものを用いた。これに対して、実施例 10 の光変調装置において、フレーク 8 として、その表面に液晶分子 7 が略垂直に配向するものを用いた場合は、櫛歯電極 11 a、11 b 間に電圧を印加したときは、実施例 9 で既に説明したように、フレーク 8 は縦配向する。縦電界

を印加すれば、液晶分子 7 は、電界、及び、配向膜 6 c のアンカリング力によって、第二の基板 2 c に対して略垂直に配向するとともに、フレーク 8 を横配向させることができる。実施例 9 で既に説明したように、液晶分子 7 の長軸方向の比誘電率を小さく、例えば、7 以下に設定すれば、誘電泳動力、クーロン力、又は、電気エネルギー的な観点から説明される力を抑えることができ、電極（電極 5 a、5 b 間、櫛歯電極 11 a、11 b 間）間に電圧を印加したときの液晶分子 7 の配向によって、フレーク 8 を動作させることができる。以上のように、フレーク 8 として、その表面に液晶分子 7 が略垂直に配向するものを用いた場合であっても、フレーク 8 の縦配向及び横配向の両方とも電圧によって操作することができるため、高速駆動が可能である。

[0105]（実施例 11）

実施例 11 は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 7 との違いは、隔壁を配置したことである。実施例 11 の光変調装置は、この構成以外、実施例 7 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0106] 図 16 は、実施例 11 の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時の状態を示す。実施例 11 の光変調装置においては、図 16 に示すように、第二の基板 2 c の光変調層 3 側の表面上に、フレーク 8 を遮る隔壁 12 が配置されている。

[0107] フレーク 8 が重力等の力によって第二の基板 2 c に対して平行に移動すると、フレーク 8 の密度に偏りが生じ、その結果、表示（光透過状態及び光反射状態）の均一性も低下してしまうことがある。しかしながら、実施例 11 の光変調装置によれば、隔壁 12 が配置されているため、フレーク 8 の移動を防止することができ、フレーク 8 の密度に偏りが生じることを防止することができる。

[0108] 隔壁 12 の材料としては、上記特許文献 4 に開示された材料と同様に、感光性樹脂を用いた。隔壁 12 としては、上記特許文献 4 に開示された形状や材料を選択することができる。隔壁 12 の高さは、光変調層 3 の厚みと同等と

してもよいが、フレーク 8 は第二の基板 2 c 側に集まっているため、その必要はない。よって、隔壁 1 2 の高さは、光変調層 3 の厚みよりも低く設定されることが好ましく、光変調層 3 の厚みの半分以上に設定されることがより好ましく、光変調層 3 の厚みの $1/3$ 以下に設定されることが更に好ましい。これにより、隔壁 1 2 の幅も狭く設定することができ、表示に使える面積比（開口率）を大きくすることができる。その結果、例えば、実施例 1 1 の光変調装置が反射表示モードの表示装置に適用される場合は、明るくコントラストの高い表示を得ることができる。また、隔壁 1 2 の高さを光変調層 3 の厚みと同等に設定すると、基板の貼り合わせ時に、個々の隔壁で囲まれた領域（空間）内に液晶とフレーク 8 との混合物を充填するのは困難であるが、隔壁 1 2 の高さを光変調層 3 の厚みよりも低く設定することで、液晶とフレーク 8 との混合物は相対的に広がりやすくなるため、プロセス上の利点もある。実施例 7 ～ 1 0 の光変調装置においても、フレーク 8 が集まる側の基板（第一の基板 2 a、又は、第二の基板 2 c）の光変調層 3 側の表面上に隔壁 1 2 を配置することで、実施例 1 1 の光変調装置と同様な効果が得られる。

[0109] （実施例 1 2）

実施例 1 2 は、一对の基板の一方に高プレチルト角が付与された場合であり、実施例 7 との違いは、フレークを支持するための支持部を配置したことである。実施例 1 2 の光変調装置は、この構成以外、実施例 7 の光変調装置と同様であるため、重複する点については説明を省略する。

[0110] 図 1 7 は、実施例 1 2 の光変調装置を示す断面模式図であり、（a）は電圧無印加時の状態を示し、（b）は電圧印加時の状態を示す。実施例 1 2 の光変調装置においては、図 1 7 に示すように、第二の基板 2 c の光変調層 3 側の表面上に、フレーク 8 を支持するための支持部 1 3 が配置されている。フレーク 8 の端部は、支持部 1 3 に回転可能に接続されており、結果として、フレーク 8 は、支持部 1 3 を介して第二の基板 2 c に接続されている。

[0111] 支持部 1 3 の材料としては、上記特許文献 7 に開示された材料と同様に、紫

外線硬化性樹脂を用いた。実施例 12 の光変調装置においては、図 17 の (a) に示すように、電圧無印加時にはフレーク 8 が横配向するため、支持部 13 の形成方法としては、上記特許文献 7 に開示された方法と同様に、電圧を印加した状態で支持部 13 を固定する方法を用いた。実施例 12 の光変調装置によれば、フレーク 8 が支持部 13 を介して第二の基板 2c に接続されているため、フレーク 8 が第二の基板 2c の面内で移動することを防止することができ、均一な表示（光透過状態及び光反射状態）を得ることができる。実施例 7 ～ 10 の光変調装置においても、フレーク 8 が集まる側の基板（第一の基板 2a、又は、第二の基板 2c）の光変調層 3 側の表面上に支持部 13 を配置することで、実施例 12 の光変調装置と同様な効果が得られる。

[0112] [その他の好適な実施例]

実施形態 1、2（実施例 1 ～ 12）の光変調装置において、形状異方性部材（フレーク）として赤外光を反射する特性を有するものを用いることで、赤外光の透過及び反射が選択可能な赤外調光装置を実現することができる。例えば、このような赤外調光装置を窓に備え付けることによって、赤外調光窓を実現することができる。このような構成においては、 d/P_0 を調整することによって双安定性の液晶を用いてメモリー性を付与することもできる。また、液晶を用いているために電流がほとんど流れず、印加電圧の周波数を、例えば、10 Hz 以下と低く設定することによって、メモリー性を有さない液晶の設計であっても、消費電力を低く抑えることができる。形状異方性部材（フレーク）としては、赤外光の波長範囲の少なくとも一部、例えば、近赤外線や遠赤外線の少なくとも一部を反射できるものであればよい。

[0113] 実施形態 1、2（実施例 1 ～ 12）の光変調装置において、光変調層を上記特許文献 3 に開示されたようにカラーフィルタとして機能させることで、透過率の高い白黒表示とカラー表示とを切り換えて行う表示装置を実現することができる。ただし、この場合の表示装置を、偏光板、液晶層（文字や画像を表示するための層）、光変調層（カラーフィルタとして機能する層）、偏光板の順に積層させた構成とすると、液晶層で電圧印加によって制御したり

タレーションが、液晶を含む光変調層で崩れてしまう場合がある。よって、この場合の表示装置としては、液晶層を用いたものではなく、例えば、エレクトロウェットングやフレーク等を用いて表示を行う、偏光板を用いない表示装置であることが好ましい。

[0114] 上述したように、実施形態 1、2（実施例 1～12）の光変調装置によれば、電圧を印加する電極の選択によって、高い透過率の光透過状態と高い反射率の光反射状態とが切り換え可能である。

[0115] 本発明の光変調装置が反射表示モードの表示装置に適用される場合は、形状異方性部材（例えば、フレーク）の大きさ、形状、平面性、濃度等によって、反射光の散乱特性を制御することができる。例えば、酸化チタン等での散乱によって白表示を行う微粒子電気泳動ディスプレイでは、その散乱は等方性に近い。このような等方性の散乱状態において、カラーフィルタ層を利用したカラー表示を行う場合、図 18 の（a）中の矢印（光の経路）で示すように、ある色画素（カラーフィルタ層 9 G）で散乱されて導光された光が、別の色画素のカラーフィルタ層 9 R、9 B に吸収されてしまうため、反射光のロスが大きい。これに対して、本発明の光変調装置によれば、図 18 の（b）中の矢印（光の経路）で示すように、散乱状態に一定の指向性を持たせることができるため、カラーフィルタ層を利用したカラー表示を行うことに好適な表示装置を得ることができる。図 18 は、光変調装置を用いた反射型カラー表示を説明するための概念図であり、（a）は等方性の散乱である場合を示し、（b）は指向性の散乱である場合を示す。

[0116] 実施形態 1、2 における光変調装置の用途は表示装置であるが、本発明の光変調装置の用途は表示装置に限定されず、例えば、ショーウィンドー、ブラインド、白濁度の調整可能な曇りガラス等へ適用することもできる。

[0117] [高プレチルト角の適正範囲]

図 19 は、光変調装置における、一方の基板からの距離とチルト角との関係を示すグラフである。図 19 は、形状異方性部材としてフレーク状の部材を用い、光変調層の厚み d を $20\ \mu\text{m}$ 、液晶の自発ピッチ P_0 を $20\ \mu\text{m}$ とし

た ($d/P_0 = 1$) 光変調装置において、一方の基板からある距離離れた位置でのチルト角を計算した結果である。図 19 中、一方の基板からの距離が $0\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$ である位置は、光変調層と基板との界面を示し、プレチルト角が 90° 、 45° 、 30° 、 15° 、 7.5° 、及び、 5° の場合の計算結果が示されている。

[0118] 既に説明したように、光変調装置においては、フレークが同一平面上に横配向した場合に最も明るい光反射状態が得られ、フレークの光変調層の厚み方向の分布が広がるほど明るさが低下する。プレチルト角が予め分かっている光変調装置において、顕微鏡観察によってフレークの光変調層の厚み方向の分布を見積もり、電圧無印加時のフレークの動作性を観察した。そして、これらの結果を、図 19 に示すような、光変調層の厚み方向の変位量に対するチルト角の変化量と関連付けて考察した。その結果、プレチルト角が 7.5° 以上、 90° 以下（高プレチルト角）であればよく、プレチルト角が、好ましくは 30° 以上、 90° 以下、より好ましくは 45° 以上、 90° 以下であれば、電圧無印加時のフレークの動作性をより良好にすることができた。

[0119] [d/P_0 の好適な範囲]

本発明の光変調装置のように、フレークの横配向を実現するためには、フレーク径 L と光変調層中の液晶の螺旋ピッチ P との関係が、 $P < 30L$ であることが好ましく、 $P < 2L$ であることがより好ましい。これにより、フレークを縦配向の状態及び横配向の状態に切り換えるスイッチング動作のための応答速度をより速くすることができる。また、一对の基板の両方に高プレチルト角を付与した場合、チルト角の変化を伴うツイスト配向を得るためには、 $d/P_0 \geq 0.5$ であることが好ましく、 $d/P_0 \geq 0.7$ であることがより好ましく、プレチルト角が 90° であれば、 $2K_{22}/K_{33} > P_0/d$ 、すなわち、 $d/P_0 > K_{33}/2K_{22}$ であればよい。

[0120] 一方、 d/P_0 が大き過ぎると双安定性が発現してしまい、電圧印加の有無によるフレークのスイッチング動作が実現しにくくなる場合がある。しかし

ながら、 $d/P_o > 2$ の範囲では、次のような印加電圧の制御によって、双安定性を活用した表示を行うことができる。液晶分子がホメオトロピック配向となる電圧（以下、 V_h とも言う。）よりも低い電圧を光変調層に印加すると、螺旋軸が電極面にほぼ平行なフォーカルコニック状態となる。この状態では、フレイクが、その反射面の法線方向が螺旋軸と平行になるように配向するため、フレイクの縦配向状態が得られ、電圧無印加状態にしてもこの配向は保たれる。一方、光変調層に V_h 以上の電圧を印加した後に印加電圧を0Vとすることで、螺旋軸が基板面に垂直なプレーナー配向となる。この状態では、上述したように、フレイクの横配向状態が得られる。以上のような双安定性を活用することにより、電圧無印加時にフレイクの縦配向状態と横配向状態を保持することができるため、消費電力を抑えた表示を行うことができる。この場合、 $n \cdot P_o$ （ n は、液晶の平均屈折率）が取り得る最小値は、例えば $0.4 \mu m$ であるため、 d を $20 \mu m$ とすると、 $d/P_o < 7.5$ であることが好ましい。また、 $n \cdot P_o$ が可視光の波長程度の大きさである場合は、液晶による選択反射光が観察される。このような選択反射光による色づきを表示に利用してもよい。フレイクの動作によって白黒表示を行うためには、 $n \cdot P_o$ が可視光の波長程度の大きさにならないように P_o を設定する必要があり、 $n \cdot P_o$ を、赤外光の波長と同等の、例えば $1 \mu m$ にすることによって、より好ましくはフォーカルコニック状態における散乱を抑えるために $2 \mu m$ 程度にすることによって、良好な表示を得ることができる。この場合、電圧印加の有無によるフレイクのスイッチング動作を実現するためには、 $d/P_o < 2$ であることが好ましく、 $d/P_o \leq 1.5$ であることがより好ましい。

[0121] [比較形態1]

比較形態1は、一对の基板、及び、一对の基板間に配置された光変調層を備えた光変調装置に関し、一对の基板の両方に高プレチルト角が付与されていない場合である。

[0122] 図20は、比較形態1の光変調装置を示す断面模式図であり、電圧無印加時

の状態を示す。図20に示すように、比較形態1の光変調装置は、対向して配置された第一の基板102a、及び、第二の基板102bと、両基板間に配置された光変調層103とを備えている。第一の基板102aは背面側に配置され、第二の基板102bは観察面側（表示面側）に配置されている。

[0123] 第一の基板102aは、背面側から観察面側に向かって順に、ガラス基板104a、電極105a、配向膜106aを有している。第二の基板102bは、観察面側から背面側に向かって順に、ガラス基板104b、電極105b、配向膜106bを有している。光変調層103は、ネマチック液晶中にフレイク108が分散されたものである。

[0124] 第一の基板102a、及び、第二の基板102bは、高プレチルト角が付与されていない基板である。更に、液晶はカイラル剤を含まないネマチック液晶であるため、液晶分子107はツイスト配向していない。そのため、液晶分子107がフレイク108の表面に対して略平行に配向しても、図20に示すように、フレイク108の反射面が第一の基板102a、及び、第二の基板102bに対して略平行に配向（横配向）するようには制限されない。このため、フレイク108の配向は液晶分子107によって定まらず、フレイク108の配向を正確に制御することができない。以上より、比較形態1の光変調装置では、光の利用効率が高い光反射状態を実現することができない。

[0125] [付記]

以下に、本発明の光変調装置の好ましい態様の例を挙げる。各例は、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜組み合わせられてもよい。

[0126] 上記液晶は、カイラル剤を含有するものであってもよい。これにより、上記液晶分子が効率的に捩れて配向することができる。

[0127] 上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記第一の界面及び上記第二の界面の一方で 7.5° 以上、 90° 以下であり、かつ、上記第一の界面及び上記第二の界面の他方で 0° 以上、 7.5° 未満であってもよい。これにより、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記形

状異方性部材が上記第一の基板側又は上記第二の基板側に横配向して集まる効果を利用して、上記形状異方性部材を効果的に活用することができる。

[0128] 上記液晶分子は、上記形状異方性部材の表面に対して略平行に配向し、上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記第一の界面及び上記第二の界面で 7.5° 以上、 90° 以下であってもよい。これにより、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記形状異方性部材が上記第一の基板及び上記第二の基板から離れた位置に横配向して集まる効果を利用して、上記形状異方性部材を効果的に活用することができる。

[0129] 上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記第一の界面及び上記第二の界面で異なるものであってもよい。これにより、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記形状異方性部材の分布を、上記光変調層の厚み方向の中央付近から、上記第一の基板又は上記第二の基板側に偏らせることができる。上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記第一の界面及び上記第二の界面での上記液晶分子のチルト角の差は、 10° 以上であることが好ましく、 80° 以上であることがより好ましい。

[0130] 上記液晶分子のチルト角は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記第一の界面及び上記第二の界面で同一であってもよい。これにより、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記形状異方性部材の分布を、上記光変調層の厚み方向の中央付近に集めることができる。

[0131] 上記光変調層の厚みを d 、上記液晶の自発ピッチを P_0 とすると、 $d/P_0 \geq 0.5$ であってもよい。これにより、上記液晶分子が、上記光変調層の厚み方向に沿って、チルト角を変化させながら振れて配向しやすくなる。

[0132] 上記光変調層の厚みを d 、上記液晶の自発ピッチを P_0 とすると、 $d/P_0 < 75$ であってもよい。これにより、双安定性を活用した表示を行うことで、電圧無印加時に上記形状異方性部材の縦配向状態と横配向状態を保持することができるため、消費電力を抑えた表示を行うことができる。

[0133] 上記光変調層の厚みを d 、上記液晶の自発ピッチを P_0 とすると、 $d/P_0 < 2$ であってもよい。これにより、電圧印加の有無による上記形状異方性部

材のスイッチング動作を好適に実現することができる。

- [0134] 上記電極は、平面状電極であり、上記第一の基板又は上記第二の基板は、上記光変調層側から順に、一对の櫛歯電極、絶縁層、及び、上記平面状電極を有するものであってもよい。これにより、上記電極間に電圧を印加したり、上記一对の櫛歯電極間に電圧を印加したりすることによって、上記形状異方性部材のスイッチング動作を好適に実現することができる。
- [0135] 上記第一の基板又は上記第二の基板は、上記光変調層側の表面上に、上記形状異方性部材を遮る隔壁を有し、上記隔壁の高さは、上記光変調層の厚みよりも低いものであってもよい。また、上記隔壁の高さは、上記光変調層の厚みの半分以下であってもよい。これにより、上記隔壁が、上記形状異方性部材が上記第一の基板（上記第二の基板）に平行に移動することを防止する効果を利用して、上記形状異方性部材の密度に偏りが生じることを防止することができる。また、上記隔壁の高さを低く設定できる効果を利用して、隔壁の幅も狭く設定することができ、その結果、開口率をより大きくすることができる。
- [0136] 上記第一の基板又は上記第二の基板は、上記光変調層側の表面上に、上記形状異方性部材を支持するための支持部を有し、上記形状異方性部材の端部は、上記支持部に回転可能に接続されているものであってもよい。これにより、上記支持部が、上記形状異方性部材が上記第一の基板（上記第二の基板）に平行に移動することを防止する効果を利用して、上記形状異方性部材の密度に偏りが生じることを防止することができる。
- [0137] 上記形状異方性部材は、金属の薄片であってもよい。これにより、上記形状異方性部材で光を反射する効果を利用して、光反射状態を好適に実現することができる。
- [0138] 上記形状異方性部材は、着色されていてもよい。これにより、上記形状異方性部材で光を反射することによって、着色された上記形状異方性部材の色の反射が得られる。
- [0139] 上記形状異方性部材は、赤外光を反射する特性を有するものであってもよい

。これにより、赤外光の透過及び反射が選択可能な赤外調光装置を実現することができる。

[0140] 以下に、本発明の表示装置の好ましい態様の例を挙げる。各例は、本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜組み合わせられてもよい。

[0141] 上記表示装置は、上記光変調装置の背面側に光源を有し、かつ、外光を反射して表示を行う反射表示モードと、上記光源から出射した光を透過させて表示を行う透過表示モードとが切り換え可能であるものであってもよい。また、上記反射表示モードは、上記形状異方性部材によって上記外光を反射して表示を行うものであってもよい。これにより、半透過表示モード（反射表示モード及び透過表示モードの併用）の表示装置を実現することができる。

[0142] 上記形状異方性部材は、上記電極間に電圧を印加しない状態で、上記表示装置の表面に対して傾いて配向し、かつ、上記表示装置の表面に対して斜めから入射する上記外光を、上記表示装置の法線方向と実質的に同じ方向に反射するものであってもよい。これにより、上記表示装置へ斜め方向から入射した光であっても、上記表示装置の法線方向と実質的に同じ方向へ効率的に反射することができ、より明るい表示が得られる。上記表示装置の法線方向と実質的に同じ方向とは、上記表示装置の法線方向とのなす角度が、 0° 以上、 45° 以下であることを示し、 0° 以上、 30° 以下であることが好ましく、上記表示装置の法線方向と一致していることが特に好ましい。

符号の説明

- [0143] 1 a、1 b : 光変調装置
2 a、1 0 2 a : 第一の基板
2 b、2 c、1 0 2 b : 第二の基板
3、1 0 3 : 光変調層
4 a、4 b、1 0 4 a、1 0 4 b : ガラス基板
5 a、5 b、1 0 5 a、1 0 5 b : 電極
6 a、6 b、6 c、1 0 6 a、1 0 6 b : 配向膜
7、1 0 7 : 液晶分子

8、108：形状異方性部材（フレーク）

9R、9G、9B：カラーフィルタ層

10：絶縁層

11a、11b：櫛歯電極

12：隔壁

13：支持部

請求の範囲

- [請求項1] 対向して配置された第一の基板及び第二の基板と、
前記第一の基板と前記第二の基板との間に配置された光変調層とを備える光変調装置であって、
前記第一の基板及び前記第二の基板の各々は、電極を有し、
前記光変調層は、液晶中に形状異方性部材が分散されたものであり、
前記液晶中の液晶分子は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記光変調層の厚み方向に沿って捩れて配向し、
前記液晶分子のチルト角は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記光変調層の厚み方向に沿って変化し、かつ、前記第一の基板側の第一の界面及び前記第二の基板側の第二の界面の少なくとも一方で 7.5° 以上、 90° 以下であることを特徴とする光変調装置。
- [請求項2] 前記液晶は、カイラル剤を含有することを特徴とする請求項1に記載の光変調装置。
- [請求項3] 前記液晶分子のチルト角は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記第一の界面及び前記第二の界面の一方で 7.5° 以上、 90° 以下であり、かつ、前記第一の界面及び前記第二の界面の他方で 0° 以上、 7.5° 未満であることを特徴とする請求項1又は2に記載の光変調装置。
- [請求項4] 前記液晶分子は、前記形状異方性部材の表面に対して略平行に配向し、
前記液晶分子のチルト角は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記第一の界面及び前記第二の界面で 7.5° 以上、 90° 以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の光変調装置。
- [請求項5] 前記液晶分子のチルト角は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記第一の界面及び前記第二の界面で異なることを特徴とする請求項4に記載の光変調装置。
- [請求項6] 前記光変調層の厚みを d 、前記液晶の自発ピッチを P_o とすると、 d

／ $P_0 \geq 0.5$ であることを特徴とする請求項4又は5に記載の光変調装置。

[請求項7] 前記光変調層の厚みを d 、前記液晶の自発ピッチを P_0 とすると、 $d/P_0 < 7.5$ であることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の光変調装置。

[請求項8] 前記光変調層の厚みを d 、前記液晶の自発ピッチを P_0 とすると、 $d/P_0 < 2$ であることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の光変調装置。

[請求項9] 前記電極は、平面状電極であり、
前記第一の基板又は前記第二の基板は、前記光変調層側から順に、一対の櫛歯電極、絶縁層、及び、前記平面状電極を有することを特徴とする請求項1～8のいずれかに記載の光変調装置。

[請求項10] 前記第一の基板又は前記第二の基板は、前記光変調層側の表面上に、前記形状異方性部材を遮る隔壁を有し、
前記隔壁の高さは、前記光変調層の厚みよりも低いことを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の光変調装置。

[請求項11] 前記隔壁の高さは、前記光変調層の厚みの半分以下であることを特徴とする請求項10に記載の光変調装置。

[請求項12] 前記第一の基板又は前記第二の基板は、前記光変調層側の表面上に、前記形状異方性部材を支持するための支持部を有し、
前記形状異方性部材の端部は、前記支持部に回転可能に接続されていることを特徴とする請求項1～9に記載の光変調装置。

[請求項13] 前記形状異方性部材は、金属の薄片であることを特徴とする請求項1～12のいずれかに記載の光変調装置。

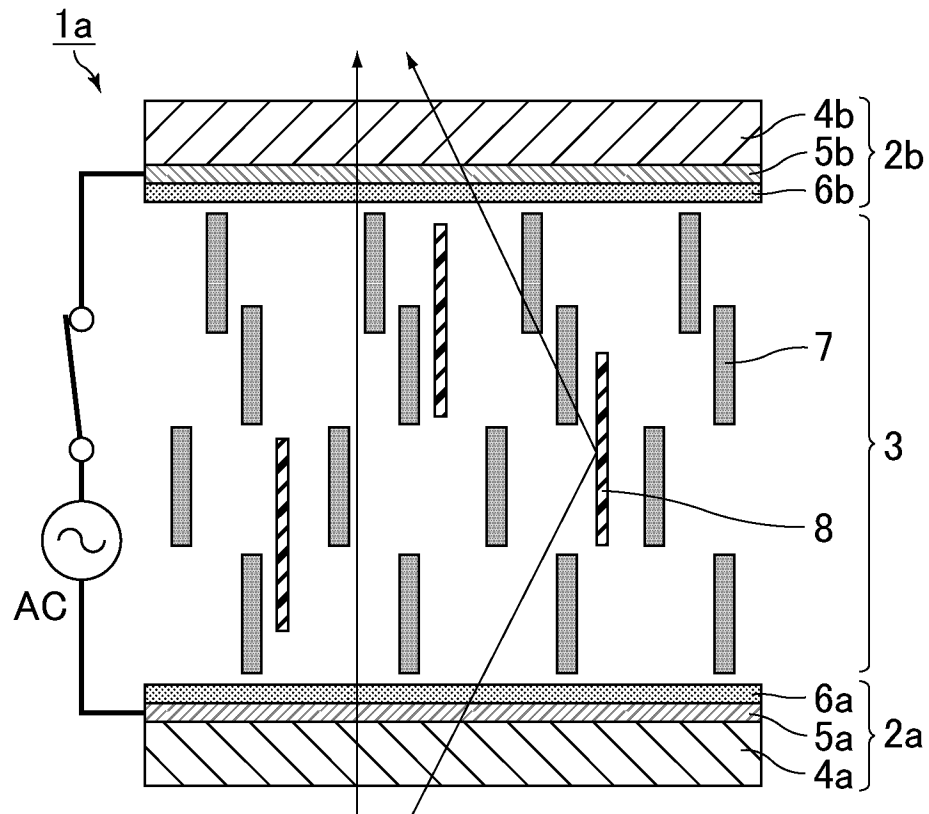
[請求項14] 前記形状異方性部材は、着色されていることを特徴とする請求項1～13のいずれかに記載の光変調装置。

[請求項15] 前記形状異方性部材は、赤外光を反射する特性を有することを特徴とする請求項1～14のいずれかに記載の光変調装置。

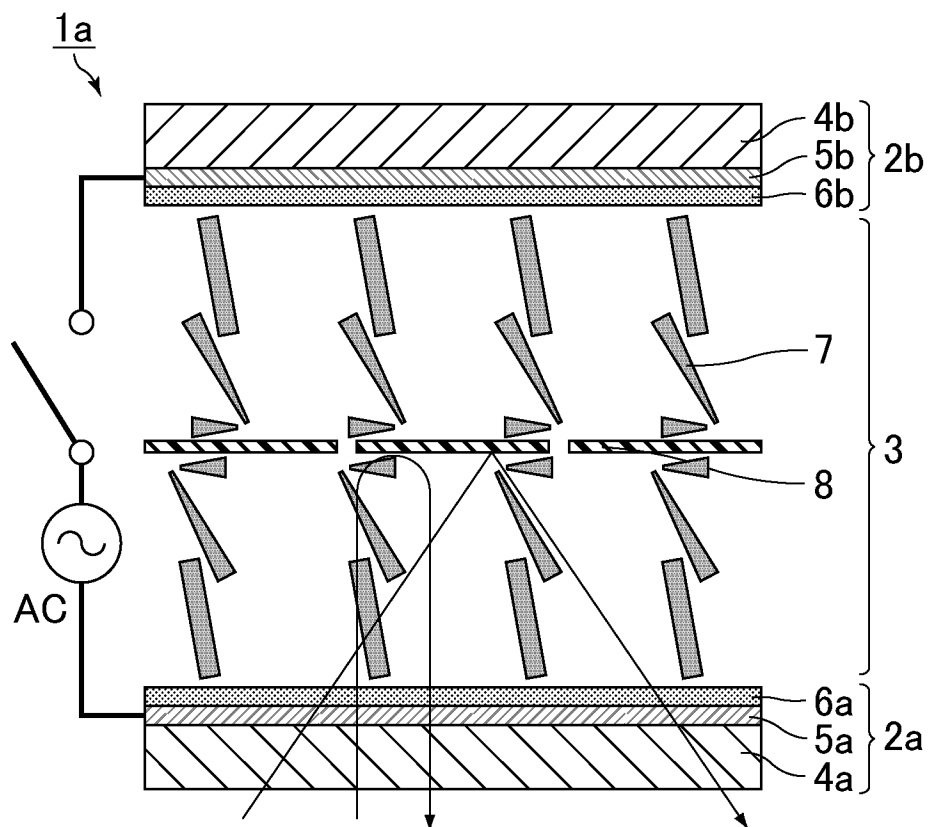
- [請求項16] 請求項1～15のいずれかに記載の光変調装置を備えることを特徴とする表示装置。
- [請求項17] 前記表示装置は、前記光変調装置の背面側に光源を有し、かつ、外光を反射して表示を行う反射表示モードと、前記光源から出射した光を透過させて表示を行う透過表示モードとが切り換え可能であることを特徴とする請求項16に記載の表示装置。
- [請求項18] 前記反射表示モードは、前記形状異方性部材によって前記外光を反射して表示を行うものであることを特徴とする請求項17に記載の表示装置。
- [請求項19] 前記形状異方性部材は、前記電極間に電圧を印加しない状態で、前記表示装置の表面に対して傾いて配向し、かつ、前記表示装置の表面に対して斜めから入射する前記外光を、前記表示装置の法線方向と実質的に同じ方向に反射することを特徴とする請求項18に記載の表示装置。

[図1]

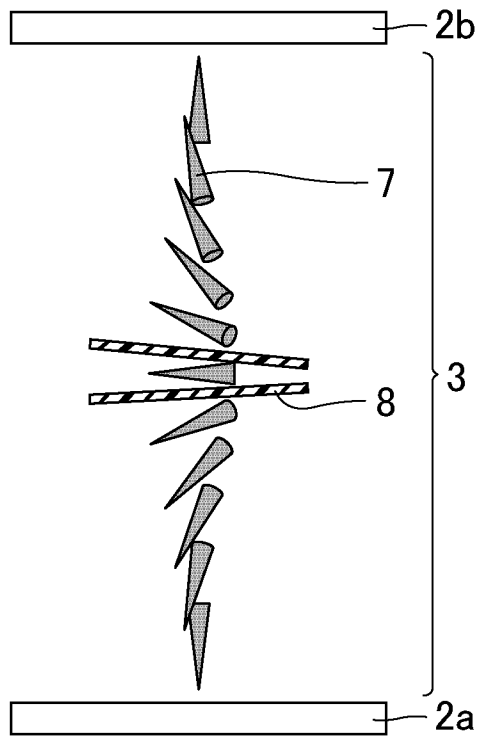
(a)



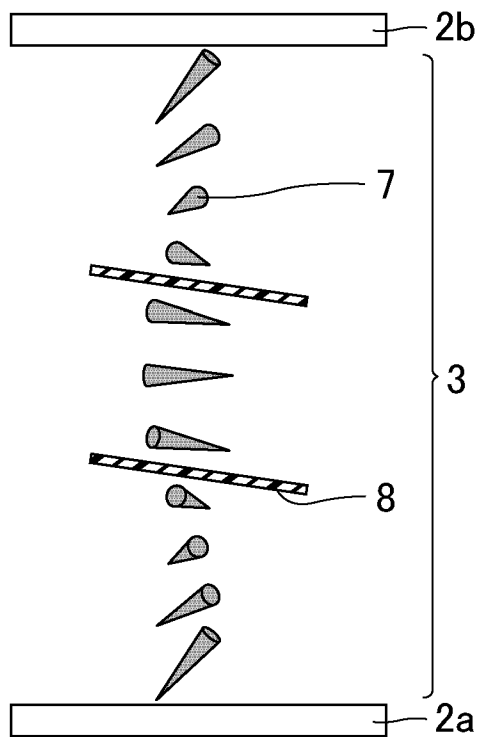
(b)



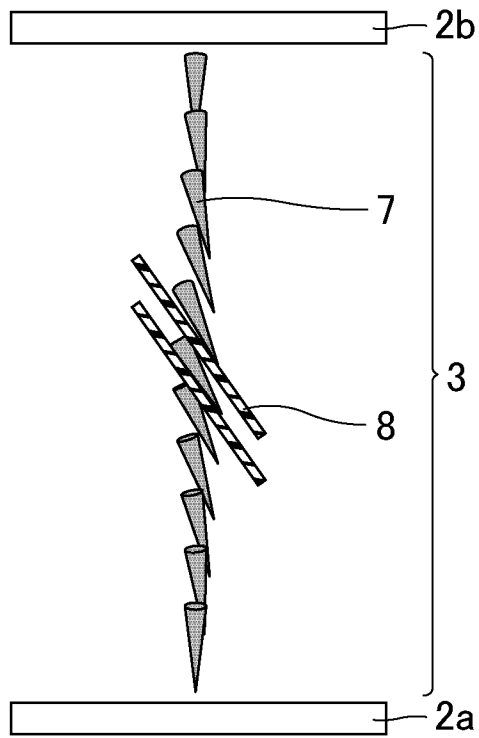
[図2]



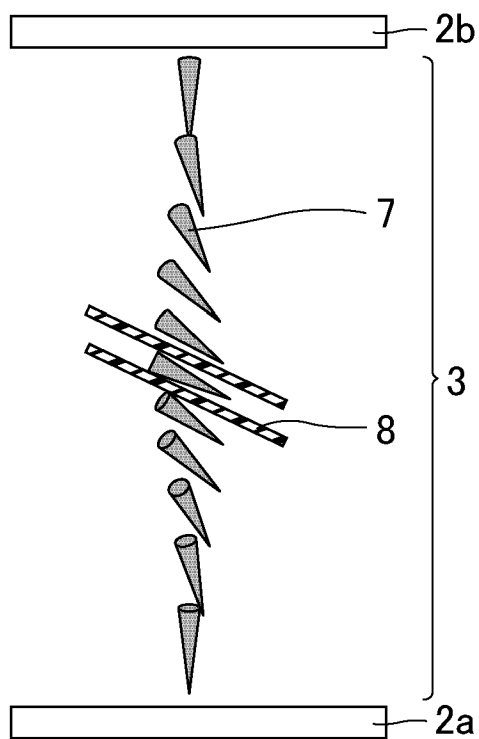
[図3]



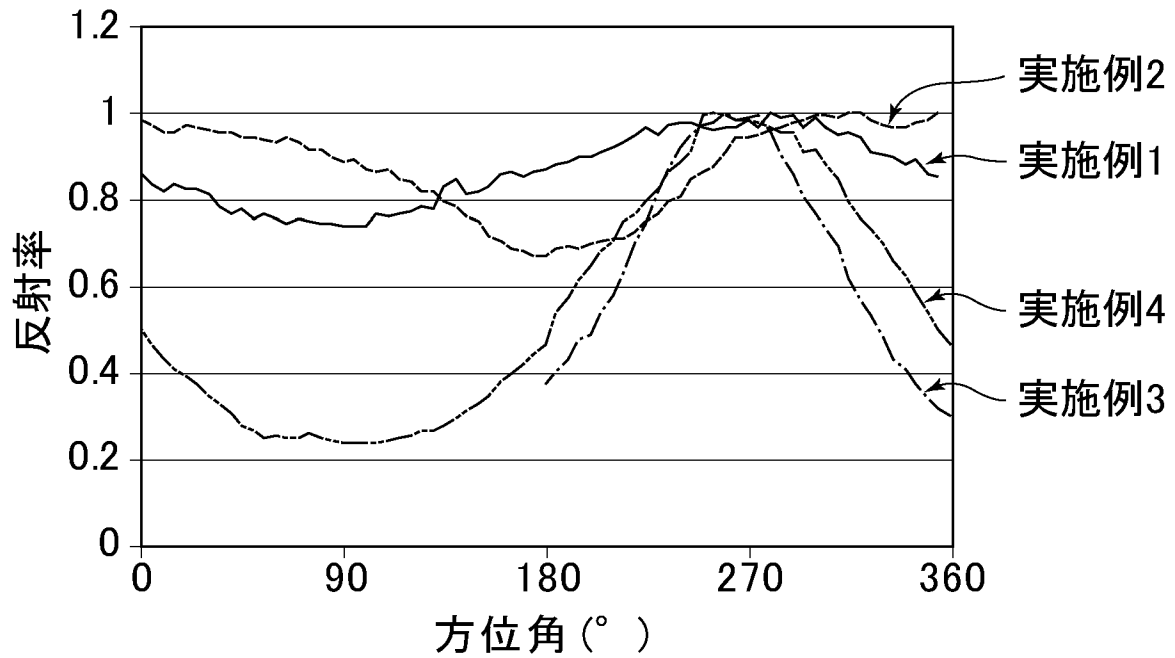
[図4]



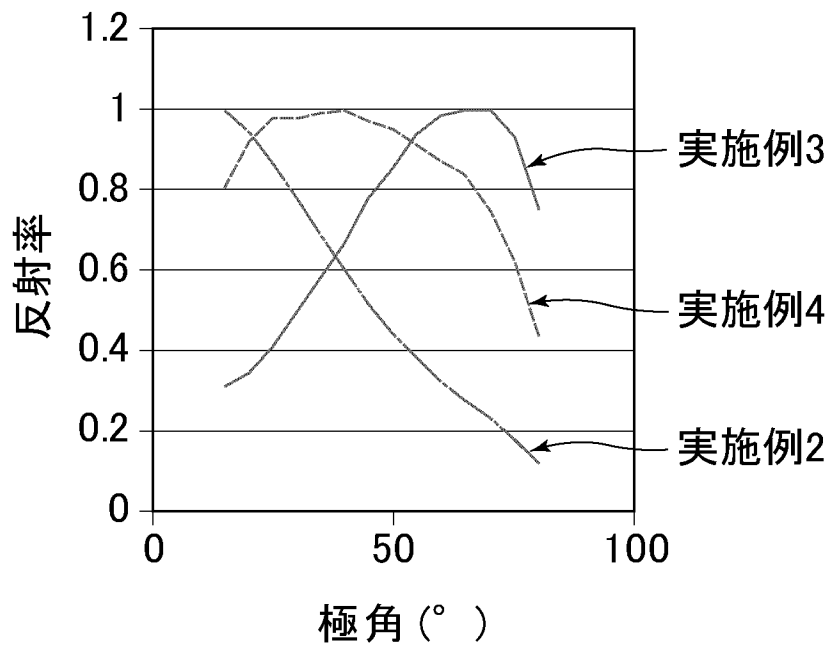
[図5]



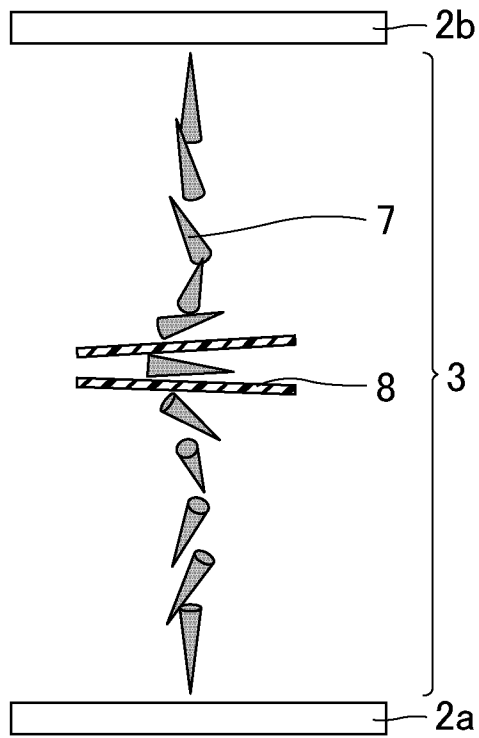
[図6]



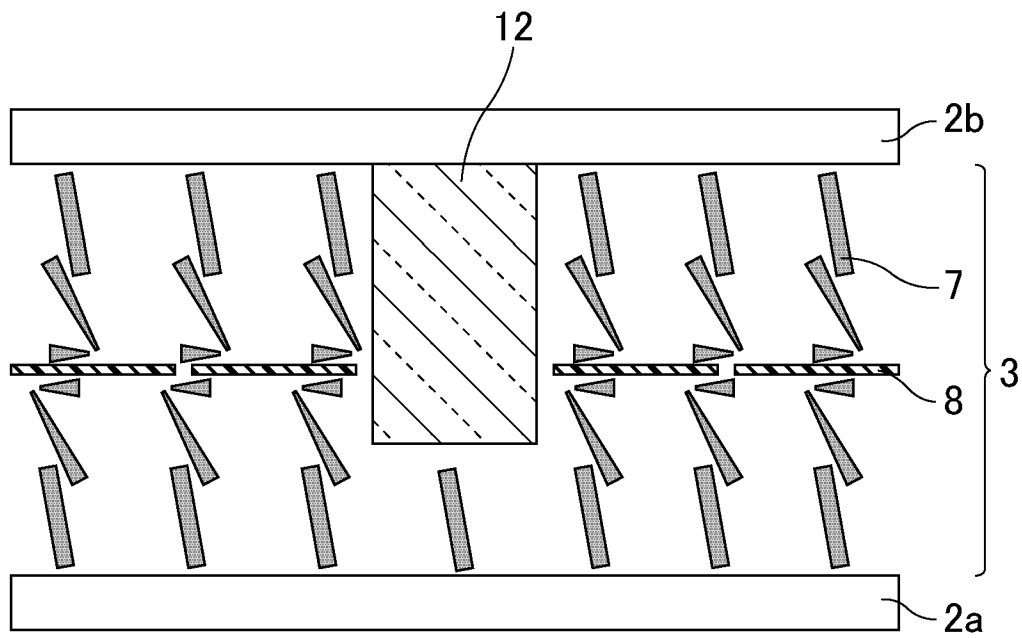
[図7]



[図8]

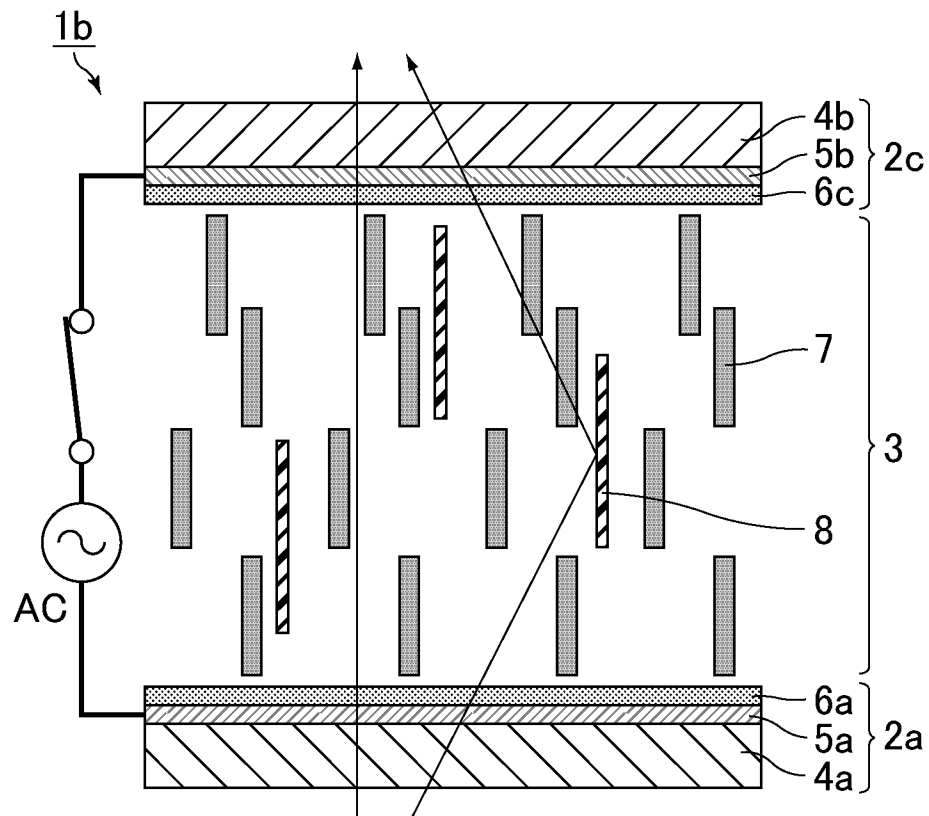


[図9]

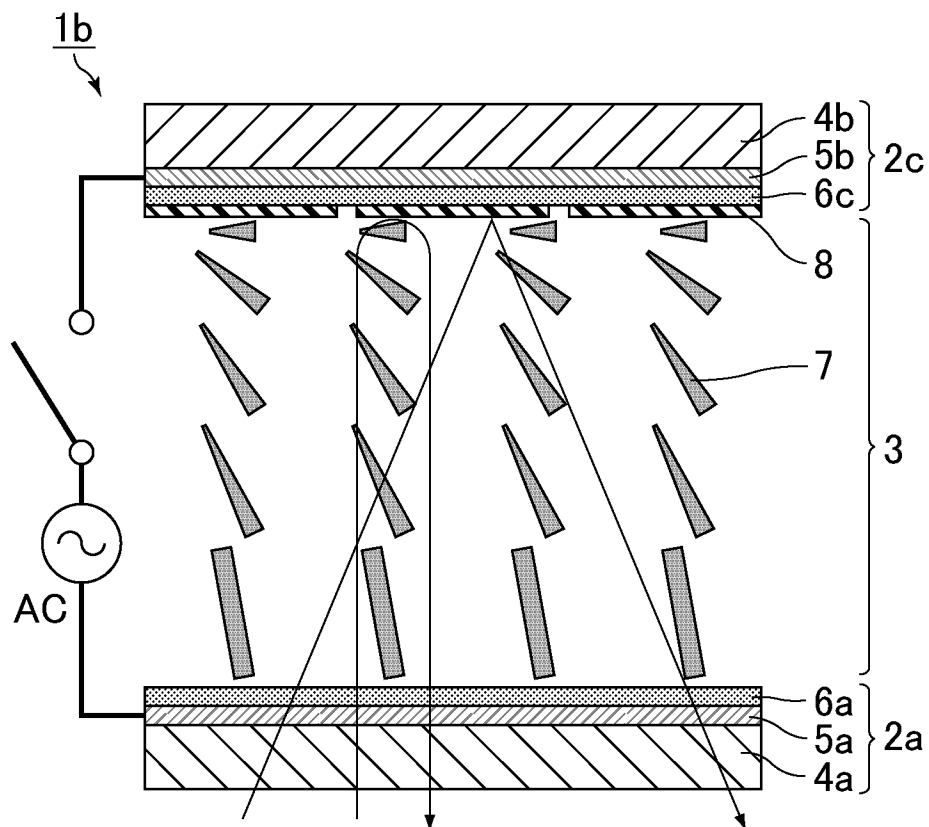


[図10]

(a)

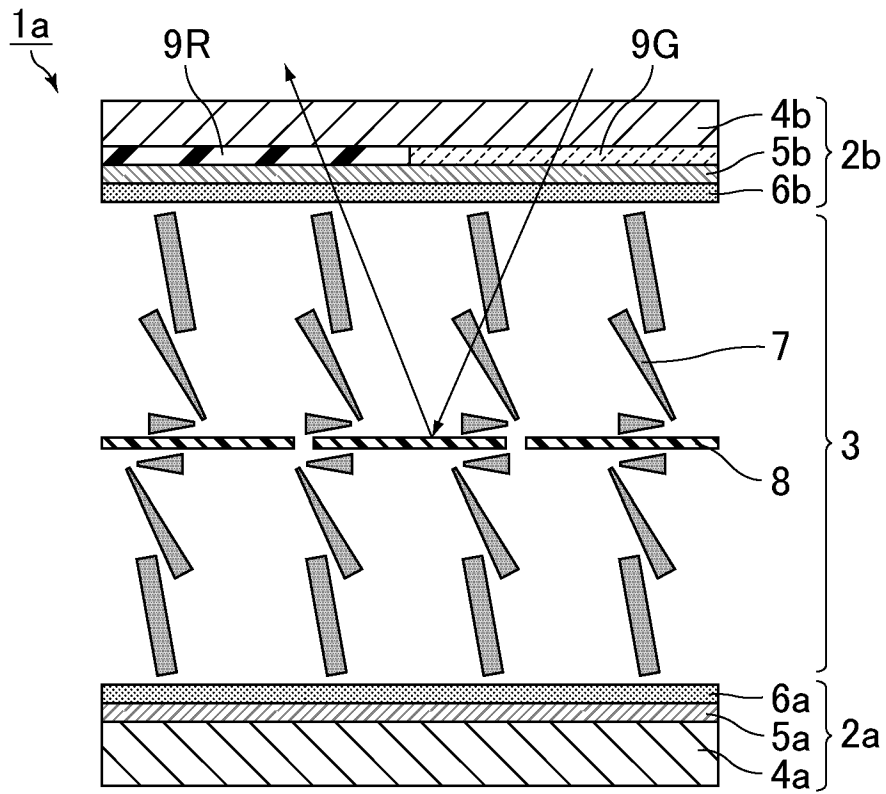


(b)

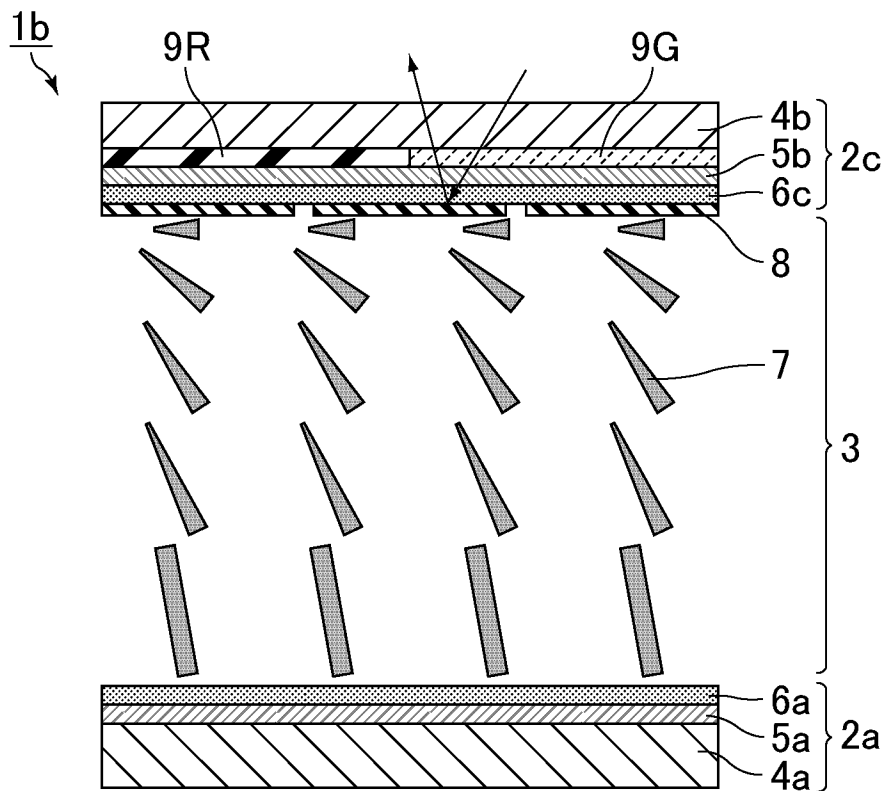


[図11]

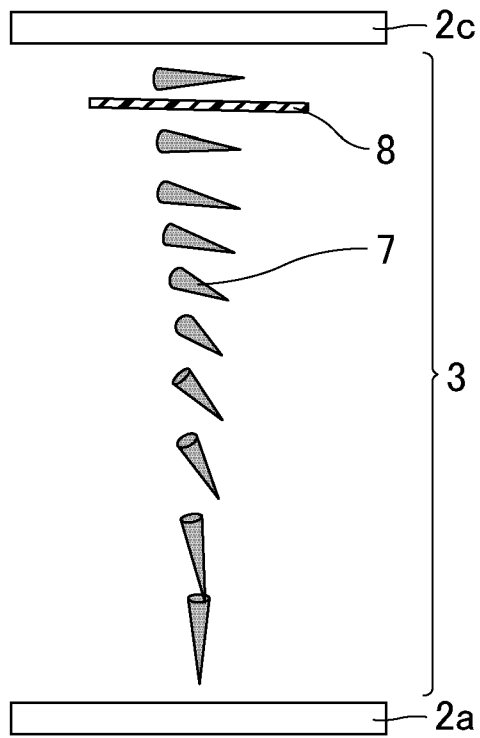
(a)



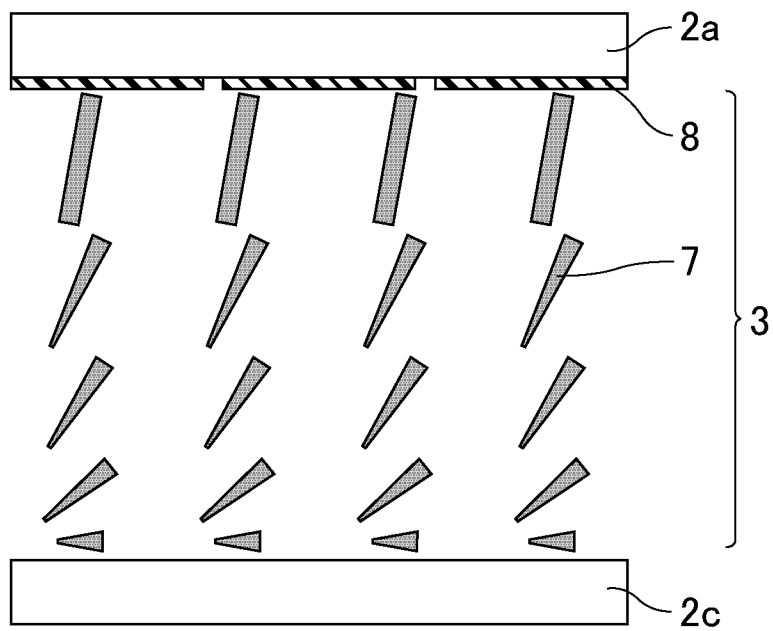
(b)



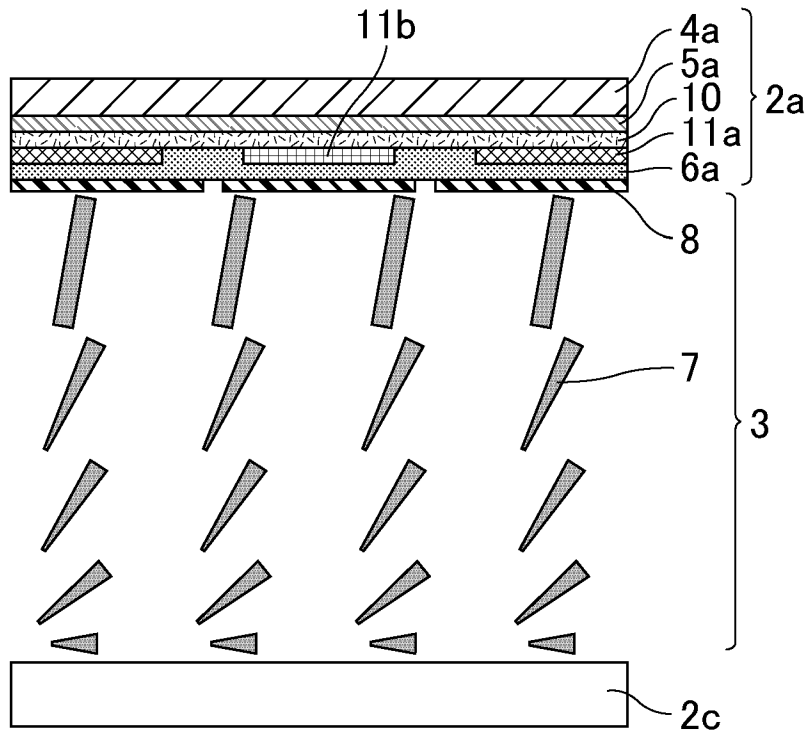
[図12]



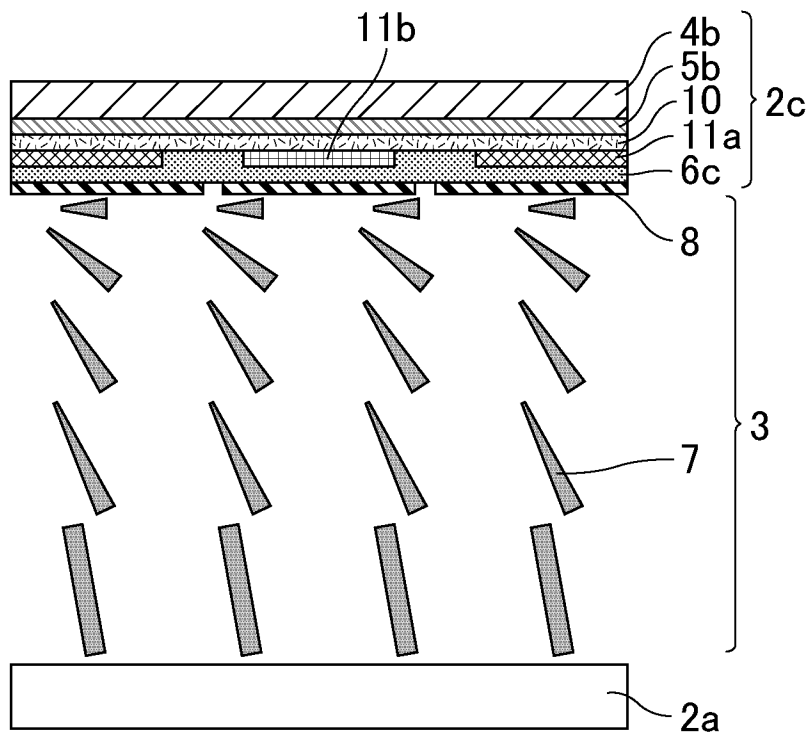
[図13]



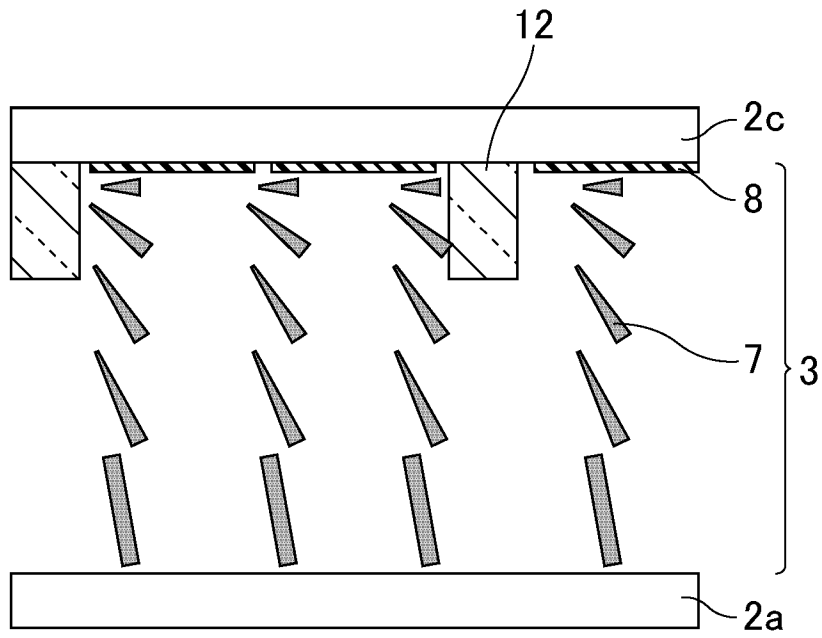
[図14]



[図15]

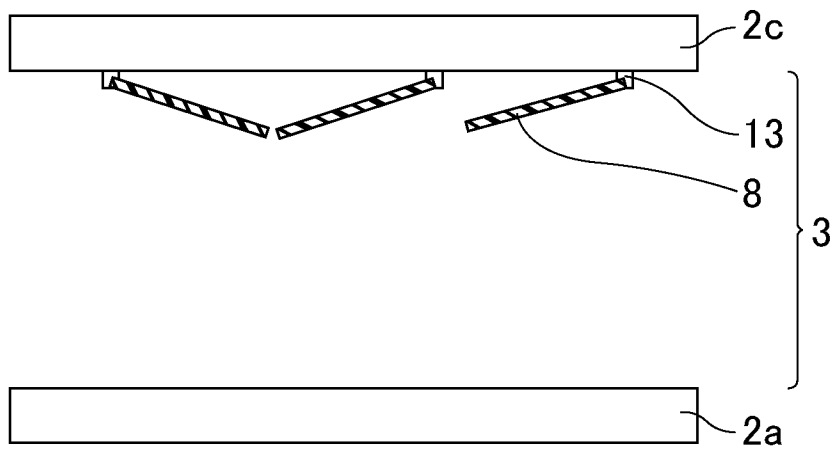


[図16]

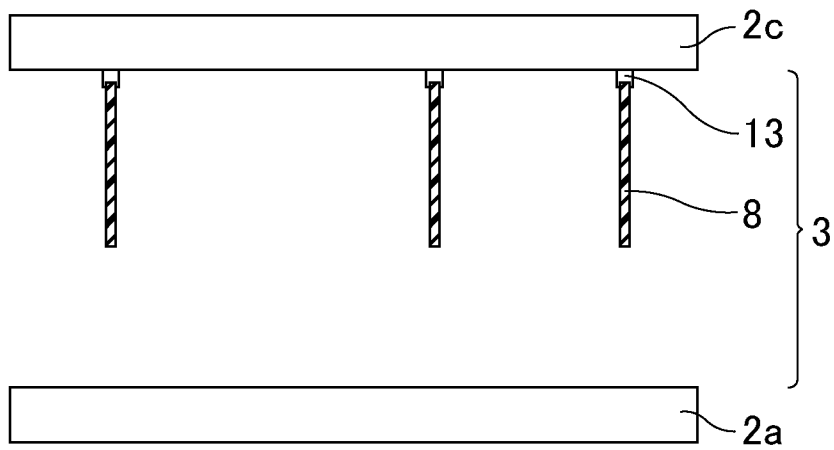


[図17]

(a)

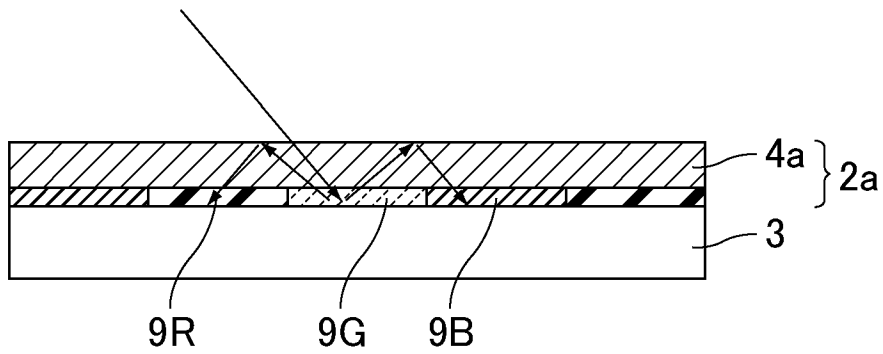


(b)

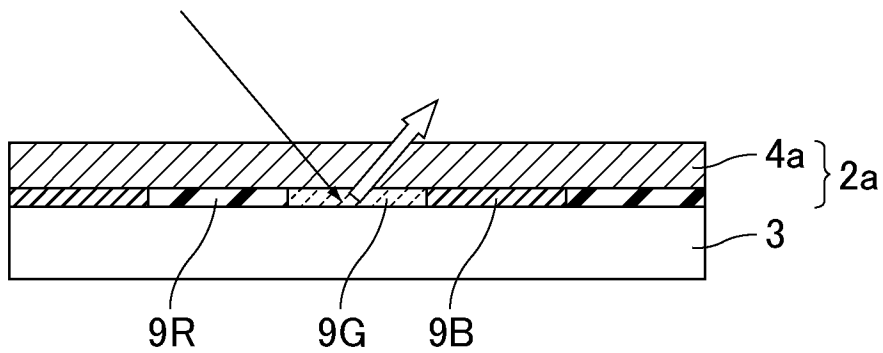


[図18]

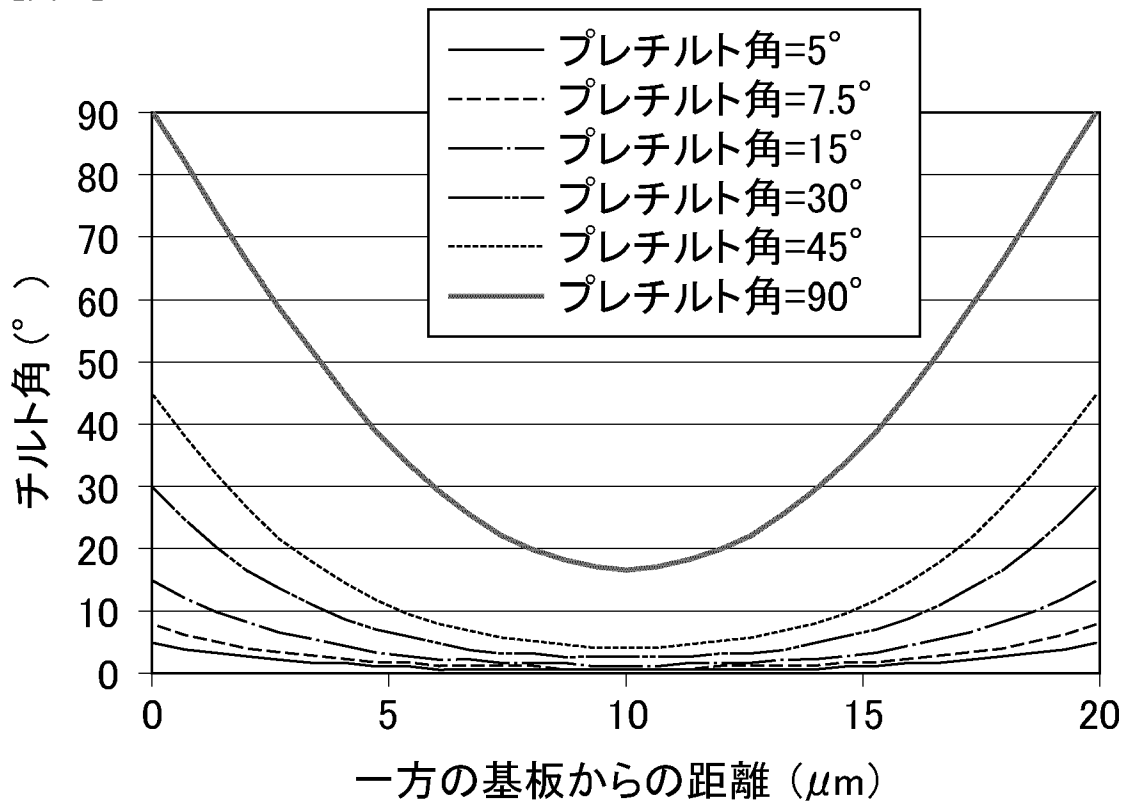
(a)



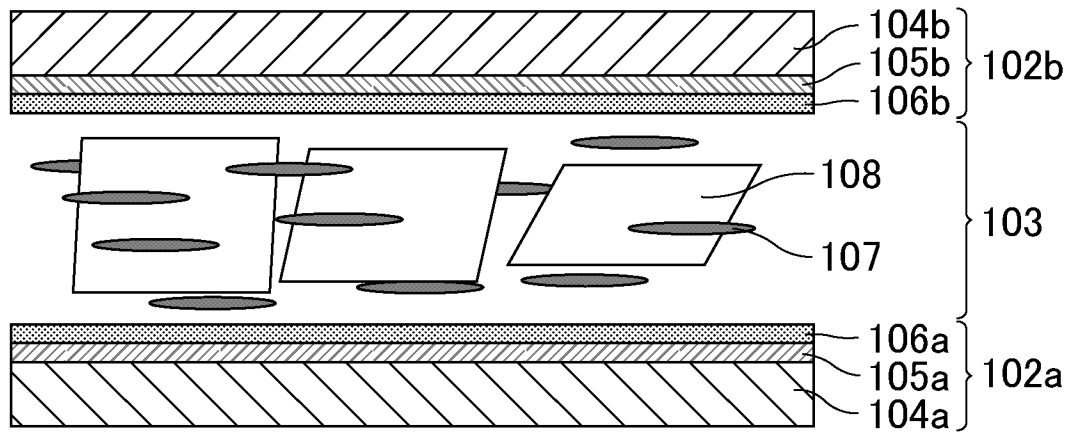
(b)



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/067223

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/19(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/13, G02F1/137-141, G02F1/17, G02F1/19

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 2013/141051 A1 (Sharp Corp.), 26 September 2013 (26.09.2013), claims; paragraphs [0015], [0058], [0076], [0186] to [0189]; fig. 12 & JP 2015-111171 A & US 2015/0146131 A1	1-19
A	WO 2014/002788 A1 (Sharp Corp.), 03 January 2014 (03.01.2014), paragraphs [0130] to [0135], [0146] to [0160], [0203] to [0204]; fig. 16 to 21, 23 & US 2015/0192807 A & CN 104412153 A	1-19

☐ 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
14 August 2015 (14.08.15)

Date of mailing of the international search report
25 August 2015 (25.08.15)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/19(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/13, G02F1/137-141, G02F1/17, G02F1/19

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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 2013/141051 A1（シャープ株式会社）2013.09.26, 請求の範囲、段落 [0015]、[0058]、[0076]、[0186]－[0189]、[図12] & JP 2015-111171 A & US 2015/0146131 A1	1-19
A	WO 2014/002788 A1（シャープ株式会社）2014.01.03, 段落 [0130]－[0135]、[0146]－[0160]、[0203]－[0204]、[図16]－[図21]、[図23] & US 2015/0192807 A & CN 104412153 A	1-19

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14.08.2015

国際調査報告の発送日

25.08.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

磯野 光司

2 L

5709

電話番号 03-3581-1101 内線 3293