

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-64192

(P2020-64192A)

(43) 公開日 令和2年4月23日(2020.4.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2F 1/1333 (2006.01)	GO2F 1/1333	2H088
GO2F 1/13 (2006.01)	GO2F 1/13 505	2H092
GO2F 1/1343 (2006.01)	GO2F 1/1343	2H189

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2018-196241 (P2018-196241)	(71) 出願人	000004352 日本放送協会 東京都渋谷区神南2丁目2番1号
(22) 出願日	平成30年10月17日 (2018.10.17)	(74) 代理人	110001807 特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	麻生 慎太郎 東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日 本放送協会放送技術研究所内
		(72) 発明者	町田 賢司 東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日 本放送協会放送技術研究所内
		(72) 発明者	青島 賢一 東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日 本放送協会放送技術研究所内

最終頁に続く

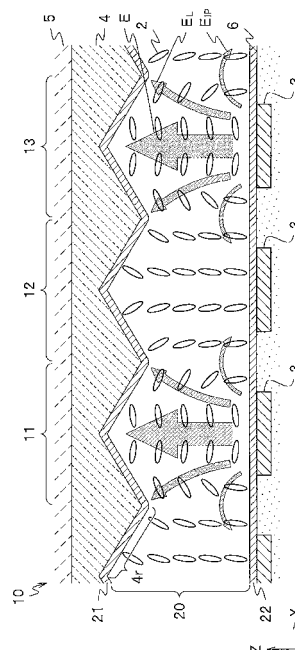
(54) 【発明の名称】 液晶光変調器、液晶表示装置、およびホログラフィ装置

(57) 【要約】

【課題】画素が微細で高コントラストな表示が可能な液晶表示装置を構成する液晶光変調器を提供する。

【解決手段】液晶光変調器10は、透明基板5と、透明電極膜からなる対向電極4と、液晶層20と、二次元配列した画素毎に設けられた画素電極3と、画素電極3のそれぞれに接続する駆動回路を有する回路基板と、を上から順に備え、画素間中心で液晶層20の厚さが最小となるように、対向電極4の下面に、傾斜面を有する凸部4rが画素間中心線に沿って形成され、凸部4rに囲まれた凹部が前記画素毎に設けられる。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

透明基板と、透明電極膜と、液晶層と、x方向とy方向とに二次元配列した画素毎に設けられた画素電極と、前記画素電極のそれぞれに接続する駆動回路を有する回路基板と、を上から順に備える液晶光変調器であって、

前記液晶層の厚さがx方向に隣り合う画素間中心で最小となるように、前記透明電極膜は、下面に、x方向に傾斜した傾斜面を有する凸部がy方向に沿って形成されていることを特徴とする液晶光変調器。

【請求項 2】

透明基板と、透明電極膜と、液晶層と、x方向とy方向とに二次元配列した画素毎に設けられた画素電極と、前記画素電極のそれぞれに接続する駆動回路を有する回路基板と、を上から順に備える液晶光変調器であって、

前記液晶層の厚さが隣り合う画素間中心で最小となるように、前記透明電極膜は、下面に、傾斜面を有する凸部が形成されていると共に、前記凸部に囲まれた凹部が前記画素毎に設けられていることを特徴とする液晶光変調器。

【請求項 3】

前記透明電極膜は、下面の前記凸部に挟まれた凹部の底がx-y面に水平な平面であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の液晶光変調器。

【請求項 4】

前記透明電極膜は、下面の凹凸による高低差の最大値が、前記凸部の最大幅以下である請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 5】

前記透明基板は、下面に、前記透明電極膜の下面の凹凸に対応した凹凸を形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 6】

前記画素の配列ピッチが、少なくともx方向において、4 μm以下である請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 7】

前記透明電極膜は、下面の凹凸による高低差の最大値が、前記液晶層の最大厚さの20%以上70%以下である請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 8】

垂直配向方式である請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 9】

前記回路基板が結晶シリコンで形成された前記駆動回路を備え、

前記画素電極が金属電極材料からなる請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 10】

前記回路基板が、透明な基板、および前記基板上に薄膜トランジスタで形成された前記駆動回路を備え、

前記画素電極が透明電極材料からなる請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか一項に記載の液晶光変調器。

【請求項 11】

請求項 1 ないし請求項 10 のいずれか一項に記載の液晶光変調器と、前記液晶光変調器の上側に配置された偏光子と、を備え、上方から光を照射されて、上方に画像を表示する液晶表示装置。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の液晶光変調器と、前記液晶光変調器の上側と下側に配置された2つの偏光子と、を備え、上方または下方の一方から光を照射されて、他方に画像を表示する液晶表示装置。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

請求項 1 1 または請求項 1 2 に記載の液晶表示装置と、前記液晶表示装置に光を照射する光源と、前記液晶表示装置の液晶光変調器の駆動回路および対向電極に接続する電源と、を備えるホログラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、液晶光変調器、ならびにこの液晶光変調器を用いた液晶表示装置およびホログラフィ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

空間光変調器 (SLM: Spatial Light Modulator) は、画素として光学素子 (光変調素子) をマトリクス状に二次元配列して光の位相や振幅等を空間的に変調するものであって、ディスプレイ技術、記録技術、レーザー加工等の分野で広く利用されている。空間光変調器は、例えば、液晶や磁気光学材料を光学素子に適用して光の偏光方向を変化させる (旋光させる) もの、あるいは、画素毎に可動式の微小なミラーを備えて光の反射方向を変化させる DMD (Digital Mirror Device) 方式のものが開発されている。中でも、旋光角が大きい、すなわち光変調度が高く、また、比較的容易に製造することができる液晶が広く適用されており、高精細な液晶ディスプレイ (LCD) を得るために、画素の微細化について研究されている。

【0003】

ここで、液晶による光学素子 (液晶光学素子) について、図 4 を参照して簡潔に説明する。図 4 に模式的に示すように、液晶光学素子 1 は、液晶層 20 と、液晶層 20 に垂直方向の電圧を印加する一対の電極 3, 4 と、液晶層 20 の上下にそれぞれ接触して設けられた配向膜 21, 22 と、を備える。電極 3, 4 から電圧を印加されて電界 E が液晶層 20 に発生すると、棒状の液晶分子 2 の向きが変化する。図 4 (a)、(b) に示す液晶光学素子 1 は垂直配向 (VA: Vertical Alignment) 方式であり、無電界状態では液晶分子 2 が配向膜 21, 22 に対して垂直に起立し、垂直方向の電界 E (図 4 (b) では、下向きの矢印で表す) によって液晶分子 2 が倒れる。そして、液晶分子 2 が垂直に起立した液晶層 20 を透過した光 L は変調せず、一方、液晶分子 2 が水平に倒れた液晶層 20 を透過した光 L は、偏光の向きが回転して出射する。なお、液晶分子 2 は長さが数 nm であり、図 4 および後記の図 3 4 においては誇張して表される。図 4 においては、電極 3, 4 を透明電極材料で形成して液晶光学素子 1 が光を透過する構成とし、2 枚の偏光子 82, 81 を液晶光学素子 1 の上下で互いにクロスニコル配置して、上方からの自然光 (非偏光) L_{UP} を、偏光子 82 を透過させて 1 つの偏光成分の光 L として、液晶光学素子 1 に入射する。電圧を印加されていない液晶光学素子 1 から出射した光は、偏光子 (検光子) 81 で遮られて暗 (黒) 表示となり、電圧を印加されている液晶光学素子 1 から出射した光は、偏光の向きが 90° 回転しているので偏光子 81 を透過して明 (白) 表示となる。なお、電界 E が弱いと液晶分子 2 の傾斜角が小さく、光 L の旋光角が 90° 未満となるので、偏光子 81 で一部が遮られて中間調表示となる。

【0004】

このような液晶光学素子 1 を光学素子とする空間光変調器 (以下、液晶光変調器と称する) 110 は、一例として、アクティブマトリクス駆動方式の空間光変調器として図 3 に示す回路構成を有する。そのために、液晶光変調器 110 は、図 3 4 に模式的に示すように、液晶層 20 の上側に透明基板 105 を土台として全面に設けられた透明電極膜である対向電極 104 に対し、液晶層 20 の下側に画素毎に画素電極 103 を間に絶縁層 6 を挟んで設け、さらにその下側に、画素電極 103 に接続する駆動回路 7 を形成された Si 基板 (図示省略) を備える。すなわち、液晶光変調器 110 は LCOS (Liquid Crystal On Silicon) - SLM で、上方から入射された光が、透明基板 105、対向電極 104、液晶層 20 を透過して、金属電極材料からなる画素電極 103 で反射して上方へ出射する反射型の空間光変調器であり、光が液晶層 20 を往復して透過する (例えば、特許文献 1

10

20

30

40

50

)。LCO S型の液晶光変調器は、平面視で画素電極103と重複して駆動回路7や駆動回路7に接続する配線71, 72, 73を配置することができ、さらに駆動回路7のトランジスタ7tがMOSFET(金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ)で形成されるので、画素の微細化が数 μm ピッチにまで実現されている。

【0005】

液晶光変調器110は、信号線71と走査線72によって選択された画素の画素電極103が+(正)または-(負)(図34では+)の電位となつて、GND(0V)に接続された対向電極104との間に垂直方向の電界Eが発生するので、対向電極104と特定の画素電極103に挟まれた領域で液晶分子2の向きが変化する。ただし、画素電極103が間隔を空けて設けられているので、電界Eの発生しない領域が画素間の境界線に沿って存在する。このような平面視において画素電極103のない領域は、非開口部として、例えば格子状のブラックマトリクスで遮光される。なお、液晶光変調器は、一般に交流(AC)電源で駆動されるので、1フレーム毎に、発生する電界が上向きと下向きの交互に入れ替わる。

10

【0006】

空間光変調器は、電子ホログラフィ装置等への適用のために、画素サイズ(ピッチ)のいっそうの微細化(狭ピッチ化)が要求され、具体的には十分な視域角が得られるように4 μm 未満とすることが望まれている。しかし、液晶光変調器においては、画素が微細化すると、電界のクロストークが発生し易く、表示のコントラストが低下する。詳しくは、画素毎に区画された画素電極103に対して対向電極104は広く形成されているので、図34に示すように、明表示の画素111, 113の画素電極103から、ある程度外側へ広がって斜め方向に対向電極104へ向かう弱い電界 E_L も発生する。そして、画素ピッチが狭いと、電界 E_L が、非開口部を越えて隣の暗表示の画素112の開口部まで到達する。さらに、隣り合う画素電極103, 103の間隙も狭くなるので、画素111, 113の画素電極103から、対向電極104と同電位(0V)の画素112の画素電極103へ、面内方向に電界 E_{LP} (横電界)が漏れる。これらの漏れ電界 E_L , E_{LP} によって、画素112においても液晶分子2が傾斜する。その結果、画素112は、開口部においても完全な暗表示(0%)とならない、黒浮きと呼ばれる状態となる。このような液晶光変調器110の暗表示の画素の黒浮きを防止するためには、光源の輝度を低減すればよいが、明表示の画素の輝度が低下することになって望ましくない。

20

30

【0007】

液晶光変調器における電界クロストークを抑制するために、隣り合う画素電極間の電位差がより小さくなるように、各画素の映像信号を逐次補正する駆動手段が開示されている(例えば、特許文献2)。特許文献2では、ある画素への印加電圧と隣接画素への電圧差を検出し、その電位差が予め定められた閾値よりも大きい場合には、予め作成した補正テーブルを用いて隣接画素への印加電圧を変更する構成が示される。

【0008】

また、一方向に隣り合う画素の間隙に、液晶層を仕切る壁を誘電体で形成して設けた液晶光変調器が開示されている(非特許文献1)。誘電体壁を隔てた暗表示の画素の開口部への隣の画素からの漏れ電界が抑制されるので、暗表示の質を向上させる(0%により近付ける)ことができる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特許第4643786号公報

【特許文献2】特許第5045278号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】Yoshitomo Isomae, Yosei Shibata, Takahiro Ishinabe, Hideo Fujika ke, "Design of 1- μm -pitch liquid crystal spatial light modulators having dielec

50

tric shield wall structure for holographic display with wide field of view", Optical Review, Volume 24, Issue 2, pp 165-176, April 2017

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

特許文献2に記載した液晶光変調器の駆動方法では、液晶光変調器の固有の補正データを予め用意する必要がある。例えば液晶光変調器の生産時に、テスト用信号を表示しながら最適な補正量を決定して作成することになり、また、液晶光変調器の種類毎に作成する必要がある。さらに、横電界を抑制することはできるが、対向電極へ向かって広がる斜め方向の漏れ電界を抑制することはできない。

10

【0012】

非特許文献1に記載した液晶光変調器は、誘電体壁が厚さ1～数 μm の液晶層と同じ厚さであるので、画素のピッチが数 μm 以下になると幅が1 μm 未満に狭くなって、アスペクト比が1超～10程度となる。液晶光変調器の製造において、このような微小かつ高アスペクト比の部材を精度よく形成し、1画素ずつ仕切られた間隙に液晶を均一に封入することは困難である。したがって、液晶密度の不均一性や誘電体壁形状の寸法誤差によるコントラストのばらつきが増大する虞がある。

【0013】

本発明は前記問題点に鑑み創案されたものであり、画素が微細で高コントラストな表示が可能な液晶表示装置、さらに視域角が十分に広いホログラフィ装置、これらの液晶表示装置等を構成する液晶光変調器を提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

すなわち本発明に係る液晶光変調器は、透明基板と、透明電極膜と、液晶層と、x方向とy方向とに二次元配列した画素毎に設けられた画素電極と、前記画素電極のそれぞれに接続する駆動回路を有する回路基板と、を上から順に備え、前記液晶層の厚さがx方向に隣り合う画素間中心で最小となるように、前記透明電極膜の下面に、x方向に傾斜した傾斜面を有する凸部をy方向に沿って形成されている構造とする。または、液晶光変調器は、前記液晶層の厚さが隣り合う画素間中心で最小となるように、前記透明電極膜の下面に、傾斜面を有する凸部を形成されていると共に、前記凸部に囲まれた凹部が前記画素毎に設けられていてもよい。

30

【0015】

かかる構成により、液晶光変調器は、画素間において、対向電極である透明電極膜の凸部が電界をブロックするので、暗表示の画素の開口部への電界の漏れが抑制される。

【0016】

本発明に係る液晶表示装置は、前記液晶光変調器と、前記液晶光変調器の上側に配置された偏光子と、を備え、上方から光を照射されて、上方に画像を表示する。あるいは本発明に係る液晶表示装置は、前記液晶光変調器と、前記液晶光変調器の上側と下側に配置された2つの偏光子と、を備え、上方または下方の一方から光を照射されて、他方に画像を表示する。かかる構成により、液晶表示装置は、明表示の画素の隣の暗表示の画素を十分に暗くすることができる。

40

【0017】

本発明に係るホログラフィ装置は、前記液晶表示装置と、前記液晶表示装置に光を照射する光源と、前記液晶表示装置の液晶光変調器の駆動回路および対向電極に接続する電源と、を備える。かかる構成により、ホログラフィ装置は、暗表示の画素が黒浮きすることなく表示される。

【発明の効果】

【0018】

本発明に係る液晶光変調器および液晶表示装置によれば、画素が微細であっても高コントラストな表示が可能となる。本発明に係るホログラフィ装置によれば、視域角を広く表

50

示することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第1実施形態に係る液晶光変調器の構造を説明する外観図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る液晶光変調器の構造を説明する断面図である。

【図3】液晶光変調器の等価回路図である。

【図4】液晶光変調器における液晶光学素子の動作を説明する模式図であり、(a)は電圧非印加時、(b)は電圧印加時である。

【図5】本発明の第1実施形態に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図6】本発明に係る液晶光変調器の製造方法における、対向電極の形成工程を模式的に説明する断面図である。

【図7】本発明に係る液晶光変調器の動作を説明する模式図であり、図1に示す液晶光変調器の断面図である。

【図8】本発明の第1実施形態の変形例に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図9】本発明の第1実施形態の変形例に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図10】本発明の実施形態に係る液晶表示装置の構造を説明する外観図である。

【図11】本発明に係るホログラフィ装置の構造を説明する模式図である。

【図12】本発明の第2実施形態に係る液晶光変調器の構造を説明する断面図である。

【図13】本発明の第2実施形態に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図14】本発明の第2実施形態の変形例に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図15】本発明の第2実施形態の変形例に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する外観図である。

【図16】本発明の第2実施形態の変形例に係る液晶光変調器の対向電極の形状を説明する断面図である。

【図17】本発明の第3実施形態に係る液晶光変調器の構造を説明する外観図である。

【図18】本発明の別の実施形態に係る液晶表示装置の構造を説明する外観図である。

【図19】実施例の画素電極と対向電極の形状、およびシミュレーションの観測位置を説明する平面図である。

【図20】第1実施形態に係るセル厚1 μ mのサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図21】セル厚1 μ mの比較例のサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図22】セル厚1 μ mのサンプルの反射率の二次元分布図であり、(a)は第1実施形態に係るサンプル、(b)は第1実施形態の変形例に係るサンプル、(c)は比較例である。

【図23】第1実施形態に係るセル厚1.5 μ mのサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図24】セル厚1.5 μ mの比較例のサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図25】セル厚1.5 μ mのサンプルの反射率の二次元分布図であり、(a)は第1実施形態に係るサンプル、(b)は比較例である。

【図26】第1実施形態および比較例に係るサンプルの反射率分布である。

【図27】明表示と暗表示の画素の中心における反射率およびコントラスト比の、対向電極の凸部の高さ依存性を表すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 28】第 2 実施形態に係るセル厚 $1\ \mu\text{m}$ 、対向電極の凸部の幅 $300\ \text{nm}$ のサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図 29】第 2 実施形態に係るセル厚 $1\ \mu\text{m}$ 、対向電極の凸部の幅 $400\ \text{nm}$ のサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図 30】第 2 実施形態に係るセル厚 $1\ \mu\text{m}$ 、対向電極の凸部の幅 $600\ \text{nm}$ のサンプルの電位分布と液晶配向である。

【図 31】第 2 実施形態に係るセル厚 $1\ \mu\text{m}$ のサンプルの反射率の二次元分布図であり、対向電極の凸部の幅が (a) は $300\ \text{nm}$ 、(b) は $400\ \text{nm}$ 、(c) は $600\ \text{nm}$ である。

【図 32】第 1、第 2 実施形態に係るセル厚 $1\ \mu\text{m}$ 、対向電極の凸部の高さ $300\ \text{nm}$ のサンプル、およびセル厚 $1\ \mu\text{m}$ の比較例のサンプルの反射率分布である。

【図 33】明表示と暗表示の画素の中心における反射率およびコントラスト比の、対向電極の凸部の幅依存性を表すグラフである。

【図 34】従来の液晶光変調器の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

本発明に係る液晶光変調器および液晶表示装置を実現するための形態について、図を参照して説明する。図面に示す液晶光変調器およびその要素は、説明を明確にするために、大きさや位置関係等を誇張していることがあり、また、形状を単純化していることがある。

【0021】

〔第 1 実施形態：液晶光変調器〕

本発明の第 1 実施形態に係る液晶光変調器 10 は、画素（液晶光学素子）が X 方向と Y 方向とに二次元配列され、図 1 および図 2 に示すように、液晶層 20、液晶層 20 を上下から挟む、対向電極（透明電極膜）4 と画素毎に設けられた画素電極 3、画素電極 3 に接続する駆動回路 7（図 3 参照）を形成された Si 基板（回路基板）70、ならびに最上層の透明基板 5 を備え、対向電極 4 の下面には、画素毎に凹みを有するように凹凸が形成されている。液晶光変調器 10 はさらに、液晶層 20 の上下にそれぞれ接触して設けられた配向膜 21、22、Si 基板 70 上で Y 方向に延設した信号線（ソース線）71 ならびに X 方向に延設した走査線（ゲート線）72 および共通電極線（コモン線）73（適宜まとめて、配線 71、72、73）、Si 基板 70 への光を遮る遮光膜 74、画素電極 3 および配線 71、72、73 の層間等を絶縁する絶縁層 6 を備える。すなわち、液晶光変調器 10 は、上から順に、透明基板 5、対向電極 4、配向膜 21、液晶層 20、配向膜 22、画素電極 3、絶縁層 6 ならびに遮光膜 74 および配線 71、72、73、Si 基板 70 を備える。なお、図 1 では、液晶層 20 および配向膜 22 は透明として、配向膜 22 と液晶層 20 との界面を破線で表す。また、図 1 は画素中心を含む Y 方向に沿った断面を示し、図 2 は画素中心を含む X 方向に沿った断面を示す。液晶光変調器 10 は、上方から入射された光を反射して上方へ出射し、その際に選択された画素において光の偏光方向を変化させる反射型の空間光変調器である。

【0022】

また、液晶光変調器 10 は、アクティブマトリクス駆動方式の空間光変調器であり、一例として、図 3 に示すように、画素毎の駆動回路 7 がトランジスタ 7t および蓄積容量 7c を備える。トランジスタ 7t は、ソースが信号線 71 に、ゲートが走査線 72 に、ドレインが液晶光学素子 1 の画素電極 3 の側に接続する。蓄積容量 7c は、端子の一方がトランジスタ 7t のドレインおよび液晶光学素子 1 に接続し、他方が共通電極線 73 を経由して GND に接続する。

【0023】

液晶光変調器 10 の画素は、平面（XY 面を指す）視が矩形で、本実施形態においては Y 方向に長い長方形であるが、これに限られず、液晶光変調器 10 の用途等に応じて、アスペクト比 1 ~ 3 程度に設計される。画素のサイズ（ピッチ）は、液晶光変調器 10 の用

10

20

30

40

50

途等に応じて設計されるが、少なくともX方向長（短辺長） p_x が $4\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $3\ \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $2\ \mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。特に、液晶光変調器10が電子ホログラフィ装置に適用される場合には、視域角を大きくするために画素（ p_x, p_y ）が小さいことが好ましい。以下、本実施形態に係る液晶光変調器を構成する各要素を詳細に説明する。

【0024】

（液晶層）

液晶層20は、液晶材料からなり、ねじれネマティック（TN：Twisted Nematic）方式や垂直配向（VA：Vertical Alignment）方式等の液晶ディスプレイの表示装置に適用される公知の材料が挙げられる。液晶層20は、比較的視野角が広く、暗表示に優れたVA方式が好ましく、そのために、負の誘電率異方性を有する液晶（n型液晶）が適用される。液晶層20は、図4を参照して前記したように、無電界状態（初期状態）では液晶分子2が垂直（Z方向）に起立し、垂直方向の電界Eによって液晶分子2が倒れる。このような液晶分子2の向きは、主に配向膜21, 22によって制御される。液晶層20の厚さ（セル厚）dは、所望の光学特性が得られるように、液晶材料等に応じて $0.5\sim 5\ \mu\text{m}$ 程度の範囲で設計され、セル厚dが小さいほど、液晶光変調器10の応答速度が高速になる。一方、セル厚dが画素サイズに対して大きいと、斜め方向の漏れ電界 E_L （図34参照）が強くなり、対向電極4の下面の形状と併せても電界の漏れを十分に抑制することが困難になる。具体的には、セル厚dは、 $2\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $1.5\ \mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましく、また、X方向長（短辺長） p_x の1.5倍以下であることが好ましく、1倍以下であることがさらに好ましい。本実施形態において、セル厚dは、最大となる画素中心における液晶層20の厚さとする。

10

20

【0025】

なお、詳しくは後記液晶表示装置の動作として説明するように、液晶層20は、液晶分子2の光学的異方性により、図4（b）に示すように液晶分子2が傾斜している（非垂直である）時に、透過する光の偏光成分による位相差が生じる。したがって、図4（b）に示す液晶層20を透過した直線偏光は、位相差がの整数倍の場合を除き、円偏光（位相差が/2の奇数倍のとき）や楕円偏光となる。なお、図4（b）では簡潔に、 90° 旋光した直線偏光を示している。液晶層20は、最大駆動電圧印加により液晶分子2が完全に倒れた状態（図4（b）参照）において、位相差がとなることが好ましく、本実施形態に係る液晶光変調器10は反射型の空間光変調器であるので、位相差が半分の/2となるセル厚dであることが好ましい。

30

40

【0026】

（画素電極）

画素電極3は、選択した画素に限定して液晶層20に垂直方向の電界を発生させるために、画素毎に設けられ、絶縁層6を貫通するコンタクト部（図示省略）でSi基板70の表層に形成された駆動回路7に接続する。画素電極3は、互いに間隙 l_{gx}, l_{gy} （適宜まとめて、間隙 l_g ）を空けて設けられるため、本実施形態では、平面視形状が画素よりも一回り小さな矩形に形成されている。平面視で、画素において画素電極3が設けられた領域を開口部、その外側の領域を非開口部と称する。隣り合う画素電極3, 3の間隙 l_g が広いほど、明表示の画素とその隣の暗表示の画素の画素電極3, 3間での漏れ電界（横電界） E_{lp} が抑制され易い。一方で、間隙 l_g が広いと、画素電極3の平面視サイズが小さくなり、画素の開口率が低くなる。したがって、間隙 l_g は、セル厚dや対向電極4の下面の凸部4rの形状と併せて、画素の開口率を確保しつつ、漏れ電界 E_{lp} がより抑制されるように設計されることが好ましい。

【0027】

液晶光変調器10は反射型の空間光変調器であり、画素電極3は、光を透過しなくてよいので、Cu, Al, Au, Ag, Ta, Cr, Pt, Ru等の金属やその合金のような一般的な金属電極材料で形成され、また、前記金属や合金の2種類以上を積層してもよい。特に、最上層には、配向膜22との密着性のよい材料を適用することが好ましい。また

50

、画素電極 3 は、上方から入射した光に対して反射率が高くなるように、光反射率の高い材料を十分な厚さで備えることが好ましく、その上に必要に応じて厚さ 1 ~ 10 nm の密着性のよい材料を積層してもよい。金属電極材料は、スパッタリング法等の公知の方法により成膜、フォトリソグラフィ、およびエッチングまたはリフトオフ法等により所望の平面視形状に加工される。

【0028】

(対向電極)

対向電極 4 は、液晶光変調器 10 のすべての画素で共有されている電極であり、一体に連続した膜として設けられる。また、対向電極 4 は、液晶層 20 に対面する下面が凹凸面であり、図 5 に下面を上に向けて示すように、四角錐の 4 側面の二等辺三角形を内壁面とする凹部が画素毎に形成され、画素中心に凹頂点を有する。したがって、対向電極 4 は、X 方向、Y 方向のそれぞれにおける画素間中心線（図 5 に一点鎖線で表す）上に凸稜線を有し、画素間中心で液晶層 20 の厚さが最小となる。言い換えると、対向電極 4 の下面の凹凸は、画素中心の凹頂点を囲むように、X 方向、Y 方向のそれぞれに沿った畝状の凸部 4r を画素間に有する。この凸部 4r は、傾斜面を有し、断面形状が、底辺を上（透明基板 5 の側）に向けた二等辺三角形となる。

10

【0029】

対向電極 4 が、画素間中心で突出するように形成されていることにより、後記するように電界の漏れが抑制される。この効果を十分に得るために、凸部 4r の高さ（凹凸による高低差の最大値） h が、セル厚 d の 20% 以上であることが好ましく、30% 以上であることがより好ましく、大きいほど効果が高い。ただし、凸部 4r の高さ h がセル厚 d の 70% を超えて大きくなって効果もそれ以上には向上し難いので、70% 以下であることが好ましい。また、凸部 4r の高さ h が大きくなると、凸部 4r のアスペクト比（凸部 4r の幅 w_r に対する高さ h の比）が高くなって、対向電極 4 の凹凸を形成し難くなり、さらに、対向電極 4 の下面の勾配（ $2h/w_r$ ）が急に（垂直に近く）なるので、これを被覆する配向膜 21 も形成し難くなる場合がある。凸部 4r の幅 w_r とは、最大幅である断面視での二等辺三角形の底辺の長さであり、本実施形態においては画素長 p_x 、 p_y と一致して、X 方向における幅 w_{rx} と Y 方向における幅 w_{ry} とが異なる（ $w_{rx} = p_x$ 、 $w_{ry} = p_y$ ）。また、後記するように、液晶層 20 の液晶分子 2 は、無電界状態では、配向膜 21、22 の膜面に垂直に起立する。したがって、凸部 4r のアスペクト比が高いと、対向電極 4 の下面の勾配（ $2h/w_r$ ）が急になるので、対向電極 4（凸部 4r）の近傍で液晶分子 2 が大きく傾斜して、暗表示が十分に暗くならない。また、凸部 4r の高さ h が大きいと開口部における対向電極 4 の高低差 h_a （図 1 参照）が大きくなり、この開口部高低差 h_a がセル厚 d 比で大きい場合、画素電極 3 - 対向電極 4 間距離、および液晶層 20 の厚さについて、画素中心と開口部周縁との相対的な差が大きくなる。そのため、電圧印加時に、光路長の短い開口部周縁で旋光角が小さくなったり、画素中心部で電界が弱くなって液晶分子 2 が十分な傾斜角で倒れなかったりして、明表示の画素（開口部）内で輝度のムラを生じることになる。具体的には、凸部 4r のアスペクト比が 1 以下（ h/w_r ）であることが好ましく、1/2 以下（ $2h/w_r$ ）であることがより好ましく、1/3 以下（ $3h/w_r$ ）であることがさらに好ましい。なお、対向電極 4 は、最薄部である画素中心

20

30

40

【0030】

対向電極 4 は、液晶光変調器 10 の光の入射側に設けられるため、光を透過するように、透明電極材料で形成される。透明電極材料は、例えば、インジウム亜鉛酸化物（Indium Zinc Oxide: IZO）、インジウム - スズ酸化物（Indium Tin Oxide: ITO）、酸化スズ（ SnO_2 ）、酸化アンチモン - 酸化スズ系（ATO）、酸化亜鉛（ ZnO ）、フッ素ドープ酸化スズ（FTO）、酸化インジウム（ In_2O_3 ）等の公知の導電性酸化物からなる。これらの透明電極材料は、スパッタリング法、真空蒸着法、塗布法等の公知の方法により成膜され、後記するように、ナノインプリントリソグラフィ（NIL）とエッチングによって表面（下面）に凹凸を形成される。または、PEDOT/PSS（Poly(3,4-e

50

thylenedioxythiophene) / poly(4-styrenesulfonate))等の導電性高分子を適用して、金型で直接に凹凸を転写して成型することもできる。

【0031】

(配向膜)

配向膜21および配向膜22は、液晶分子2の向きを制御するために、液晶層20の上下に接触して設けられる。配向膜21, 22は、ポリイミド等の有機膜やSi酸化物(SiO_x)等の無機膜であり、表示方式に対応した公知の材料が適用され、数十~100nm程度の膜厚に形成される。対向電極4を被覆して形成される配向膜21は、対向電極4の下面の凹凸に沿って一様な厚さに形成される。一方、配向膜22は、表面(液晶層20に接する面)が平坦に形成されることが好ましい。本実施形態では、VA方式として、配向膜21, 22は、初期状態で液晶分子2を膜面に垂直に起立させるように、疎水基を導入したポリイミドやSiO_x(x=1~2程度)等が適用される。配向膜21, 22は、さらに必要に応じて、電圧印加時に液晶分子2が所定方向へ倒れるように、表面(液晶層20に接触する面)に配向処理を施されていてもよい。例えば、ポリイミドは、塗布法によって成膜された後にUV照射によって配向処理され、SiO_xは、斜方蒸着によって成膜と同時に配向処理される。

10

【0032】

(透明基板)

透明基板5は、対向電極4および配向膜21を形成するための土台であり、Si基板70と共に、液晶層20を支持するための土台である。透明基板5は、液晶光変調器10の光の入射側に設けられるため、光を透過するように、公知の透明基板材料が適用される。具体的には、SiO₂(酸化ケイ素、ガラス)、サファイア、ポリカーボネート(PC)等が挙げられる。

20

【0033】

(Si基板)

Si基板70は、駆動回路7や画素電極3等を形成するための土台であり、さらに駆動回路7の材料である。また、透明基板5と共に、液晶層20を支持するための土台である。本実施形態では、トランジスタ7tがMOSFET(金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ)で形成されるため、Si基板70は、単結晶シリコン基板を材料とすることが好ましく、駆動回路7の構成等に応じて、n型Si基板やp型Si基板を適用することができる。また、蓄積容量7cは、Si基板70の表層のSiとその上に形成した絶縁膜とpoly-Si膜の3層構造とすることができる。

30

【0034】

(配線、遮光膜)

信号線71、走査線72、および共通電極線73は、駆動回路7に入力して画素を選択するためにSi基板70上に設けられ、画素電極3と同様に一般的な金属電極材料で形成され、エッチングやダマシン法等の公知の半導体の配線形成方法で形成される。遮光膜74は、Si基板70に光が入射しないように、必要に応じて、平面視で画素電極3が設けられない領域に設けられ、ここでは、信号線71と共に金属電極材料で同じ層に形成されている。

40

【0035】

(絶縁層)

絶縁層6は、Si基板70上に設けられて、配線71, 72, 73や画素電極3の間を絶縁する。さらに、絶縁層6は、液晶層20の下面を平坦化するように、画素電極3, 3間を埋めて設けられることが好ましい。絶縁層6は、半導体素子等に設けられる公知の無機絶縁材料が適用でき、具体的には、SiO₂やAl₂O₃等の酸化膜やSi₃N₄やMgF₂等が挙げられ、2種類以上の材料を適用されてもよい。

【0036】

(液晶光変調器の製造方法)

本実施形態に係る液晶光変調器は、公知のLCOS型の液晶光変調器と同様の製造方法

50

において、対向電極の形成時に表面（下面）に凹凸を形成する工程を追加して製造することができる。液晶光変調器の製造方法は、透明基板 5 上に対向電極 4 および上側の配向膜 2 1 を形成する対向基板工程と、Si 基板 7 0 上に駆動回路 7、配線 7 1、7 2、7 3、画素電極 3 および下側の配向膜 2 2 を形成する回路基板工程と、を個別に行い、その後、これらの透明基板 5 と Si 基板 7 0 を、配向膜 2 1、2 2 同士が対面するように重ね合わせ、間に液晶材料を封入して液晶層 2 0 を形成するセル組立工程を行う。以下、各工程の詳細について一例を説明する。

【0037】

対向基板工程について、図 6 を参照して説明する。本工程においては、図 6 も含め、液晶光変調器 1 0 における下側を上として説明する。透明基板 5 上に、ITO 等の導電性酸化物を、対向電極 4 の凸部 4 r を有する部分（画素間中心）の厚さよりも厚く成膜する。この導電性酸化物膜（図中、符号「4」を付す）上に熱硬化樹脂の塗料を塗布し、形成された樹脂膜 R M に、図 6（a）に示すように金型（モールド）M L を押し付けて、金型 M L の転写面形状を樹脂膜 R M の表面に転写する。そして、金型 M L を押し付けた状態で加熱して樹脂膜 R M を硬化させた後、金型 M L を樹脂膜 R M から離型する。これにより、樹脂膜 R M の表面に、対向電極 4 に対応した凹凸形状が形成される。なお、樹脂膜 R M に UV 硬化樹脂を適用して、加熱に代えて UV 照射により樹脂膜 R M を硬化させてもよい。そのため、石英等の UV 透過率の高い材料で形成された金型 M L を使用し、あるいは透明基板 5 および対向電極（導電性酸化物膜）4 の UV 透過率が十分に高い場合には、透明基板 5 の側から UV 照射することができる。

10

20

【0038】

図 6（b）、（c）に示すように、樹脂膜 R M の上から異方性エッチングを行って、樹脂膜 R M を完全に除去し、さらにその下の導電性酸化物膜を部分的に除去する。これにより、エッチング前の樹脂膜 R M の表面の凹凸形状が導電性酸化物膜の表面に転写されて、対向電極 4 が形成される。必要に応じて、その次に、または樹脂膜 R M を形成する前の導電性酸化物膜に、アニール処理を施してもよい。

【0039】

配向膜 2 1 を対向電極 4 の凹凸面上に形成する。配向膜 2 1 の材料に応じて、凹凸面であっても均一な厚さで成膜することのできる方法を適用する。有機膜を適用する場合には、例えばスピコート法で膜材料を対向電極 4 上に塗布し、乾燥させる。その後、必要に応じて、配向処理を施す。

30

【0040】

回路基板工程について説明する。ここでは、Si 基板 7 0 に n 型 Si 基板（n - s u b）を適用する。まず、駆動回路 7 のトランジスタ 7 t および蓄積容量 7 c を形成する領域（アクティブ領域）外の Si O₂ の埋込みを行い、次に、p 型不純物イオンを注入して、p - w e l l を画素毎に形成する。蓄積容量 7 c を形成する領域に、n 型不純物イオンを注入して表層に蓄積容量 7 c の下側の端子を形成し、その上に絶縁膜を形成する。一方、トランジスタ 7 t を形成する領域に、ゲート酸化膜を形成する。次に、p o l y - S i 膜で、トランジスタ 7 t のゲートと蓄積容量 7 c の上側の端子を形成する。n 型不純物イオンを注入して、トランジスタ 7 t のソースおよびドレインとして n⁺ 拡散層を形成する。また、p 型不純物イオンを注入して、p - w e l l を G N D に接続するための p⁺ 拡散層を形成する。

40

【0041】

Si 基板 7 0 上に層間絶縁膜（絶縁層 6）を成膜して、この層間絶縁膜の、蓄積容量 7 c の上下の端子、トランジスタ 7 t のソース、ドレイン、ゲート、および p⁺ 拡散層のそれぞれの上にホール（孔）を形成する。金属電極材料を成膜して層間絶縁膜のホールに埋め込み、さらに層間絶縁膜を成膜して、ホールやトレンチ（溝）を形成して金属電極材料を埋め込む。このように、絶縁膜の成膜および加工と金属電極材料の成膜とを繰り返して、トランジスタ 7 t のソースに接続する信号線 7 1、ゲートに接続する走査線 7 2、蓄積容量 7 c の下側の端子に接続する共通電極線 7 3 を形成し、また、トランジスタ 7 t のド

50

ラインと蓄積容量 7 c の上側の端子とを接続する配線（接続部）を形成する。さらにこの接続部を層間絶縁膜の表面で露出させて、画素電極 3 を接続するコンタクト部とする。また、信号線 7 1 等と共に遮光膜 7 4 を形成する。必要に応じて最後に、または途中で、表面を平坦化処理する。

【0042】

層間絶縁膜上にさらに絶縁膜を画素電極 3 の厚さに成膜し、フォトリソグラフィとエッチングで画素電極 3 の形状のトレンチを形成して底にコンタクト部を露出させる。この上から金属電極材料を成膜してトレンチに埋め込んで画素電極 3 を形成する。その上に、配向膜 2 2 を、配向膜 2 1 と同様に、材料に応じた方法で均一な厚さに形成する。

【0043】

セル組立工程について説明する。液晶材料の封入方法は、液晶材料等に応じた方法が適用され、VA方式では、一般に液晶滴下充填（ODF：one drop fill）法が適用される。まず、Si基板 7 0 の配向膜 2 2 を形成した面上の周縁（画素を二次元配列した領域の外側）に、セル厚 d に対応した厚さの枠状のシール材（図示せず）をUV硬化型樹脂等で形成し、シール材の枠内に液晶材料を滴下する。真空中で、Si基板 7 0 の上に、シール材および液晶材料（液晶層 2 0）を挟んで、配向膜 2 1 を下に向けて透明基板 5 を貼り合わせ、シール材を硬化させて密着させ、液晶層 2 0 を封止する。

【0044】

（液晶光変調器の動作）

本発明に係る液晶光変調器の動作について、図 7、および適宜図 4 を参照して説明する。明表示の画素 1 1, 1 3 においては、画素電極 3 が + または -（図 7 では +）の電位となって、GND（0 V）に接続された対向電極 4 との間に垂直方向の電界 E が発生する。同時に、図 3 4 を参照して前記したように、画素電極 3 から外側（非開口部）へ広がって斜め方向に対向電極 4 へ向かう弱い電界 E_L も発生する。しかし、液晶光変調器 1 0 では、対向電極 4 が、画素間中心において突出して形成されているため、この対向電極 4 の凸部 4 r で斜め方向の漏れ電界 E_L がブロックされて、凸部 4 r の向こう側の暗表示の画素 1 2 にまでは到達し難い。さらに、凸部 4 r によって、非開口部における対向電極 4、画素電極 3 間の距離が短く、低抵抗になるため、凸部 4 r が、画素 1 1, 1 3 の画素電極 3 から電位 0 V の画素 1 2 の画素電極 3 へ向かう電界 E_{LP} をトラップして、この電界 E_{LP} を弱くする。

【0045】

このように、明表示の画素 1 1, 1 3 の隣の（間に挟まれた）暗表示の画素 1 2 の開口部への、液晶層 2 0 の液晶分子 2 を傾斜させる漏れ電界 E_L , E_{LP} の発生が抑制される。したがって、画素 1 2 の開口部は、液晶分子 2 の意図しない傾斜が抑制され、クロスニコル配置の偏光子 8 1, 8 2 によって十分な暗表示を得ることができる（図 4（a）参照）。

【0046】

（液晶光変調器の変形例）

本実施形態に係る液晶光変調器 1 0 において、対向電極 4 の下面は、X方向にのみ凹凸が形成されていてもよい。すなわち、図 8 に示すように、Y方向に沿った畝状の凸部 4 r を形成された対向電極 4 A を適用することができる。Y方向においては、画素長 p_Y が十分に長いので、対向電極 4 A が平坦でも、暗状態の画素の画素中心近傍まで漏れ電界 E_L , E_{LP} が到達し難い。さらに、Y方向の漏れ電界 E_L , E_{LP} を抑制するために、Y方向の間隙 l_{gY} が広がるように画素電極 3 の形状を設計することが好ましい。このような一方に沿った凸部 4 r を有する対向電極 4 A によれば、画素電極 3 - 対向電極 4 間距離が画素中心の一点に偏って大きくなり、さらに開口部高低差 h_a が小さいので、明表示の画素内のムラが抑制され、また、製造が容易である。また、凸部 4 r のY方向の幅 w_{rY} をX方向に合わせてもよい（ $p_X = w_{rX} = w_{rY} < p_Y$ ）。すなわち、図 9 に示すように、画素中心にY方向に沿った水平な凹稜線を有する、二等辺三角形と等脚台形を2面ずつ内壁面とする、寄棟屋根の形状の凹部を下面に有する対向電極 4 B を適用することができる。このよ

10

20

30

40

50

うな対向電極 4 B を備えることで、 X 、 Y 方向共に漏れ電界 E_L 、 E_{LP} が抑制され、さらに、図 8 に示す前記変形例と同様に、開口部高低差 h_a が小さく、明表示の画素内のムラが抑制される。

【0047】

〔液晶表示装置〕

本発明の第 1 実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器 10 は、一般的な反射型の液晶光変調器と同様に液晶表示装置に使用される。図 10 に示すように、本発明の実施形態に係る液晶表示装置 100 は、液晶光変調器 10、および液晶光変調器 10 の上側に配置された偏光板（偏光子）81 を備え、偏光板 81 の上方から光を照射されて、同じく偏光板 81 の上方に画像を表示する。液晶表示装置 100 はさらに、液晶光変調器 10 と偏光板 81 の間に位相差板 83 を備えることが好ましい。また、液晶光変調器 10 の画素の非開口部を遮光するように、格子状のブラックマトリクスを備えてもよい（図示せず）。フルカラー表示装置とする場合には、ブラックマトリクスと共にカラーフィルタを備える（図示せず）。カラーフィルタおよびブラックマトリクスは、液晶光変調器 10 の透明基板 5 上に配置されてもよいし、対向電極 4 の形成前に透明基板 5 の下面に形成されていてもよい。液晶表示装置 100 に照射する光は、外光やレーザー光等、用途に応じて選択される。

10

【0048】

偏光板 81 は、外部から入射された自然光を 1 つの偏光成分の光（1 つの向きの直線偏光）として液晶光変調器 10 に入射するとともに、液晶光変調器 10 から出射した光から、前記の向きの偏光を透過して表示させる。液晶表示装置 100 においては、偏光板 81 は、透過軸を 90° （ Y 方向）（吸収軸を 0° ）にして配置され、振動方向 90° の直線偏光を透過させる。

20

【0049】

位相差板 83 は、液晶層 20 による光の位相差を補償するために設けられ、 $\lambda/2$ 位相差板（ $\lambda/2$ 波長板）や $\lambda/4$ 位相差板（ $\lambda/4$ 波長板）が適用される。液晶は、その液晶分子の光学的異方性のために、液晶分子の向きによって屈折率が変化する。具体的には、液晶層 20 は、図 4（a）に示すように液晶分子 2 が垂直方向のときには、偏光成分による位相差 $\Delta n d$ が 0 であるのに対し、液晶分子 2 が傾斜していると位相差を生じる。ここでは、図 4（b）に示すように液晶分子 2 が水平方向のときには、位相差 $\Delta n d$ を $\lambda/4$ とする。本実施形態においては、液晶層 20 に位相差が生じている状態で明表示されるので、角度による位相差変化を生じ、視野角が狭くなる。そこで、液晶層 20 による位相差を位相差板 83 で補償することが好ましい。ここでは、位相差板 83 は、 $\lambda/4$ 位相差板とし、遅相軸を 45° にして配置される。

30

【0050】

（液晶表示装置の動作）

本実施形態に係る液晶表示装置の動作について説明する。まず、暗状態の画素 1（図 4（a）参照）における動作を説明する。上方から入射した自然光は、偏光板 81 によって Y 方向の直線偏光となり、この直線偏光が位相差板 83 によって、左回りの円偏光に変換される。この円偏光が、透明基板 5 および対向電極 4 を透過して、液晶層 20 に進入する。液晶層 20 は液晶分子 2 が垂直方向であるため、左回りの円偏光はそのままの状態を透過し、画素電極 3 に到達する。左回りの円偏光は、画素電極 3 で反射する際に右回りの円偏光となって、再び液晶層 20 を透過し、さらに対向電極 4 および透明基板 5 を透過して、位相差板 83 に進入する。位相差板 83 は、右回りの円偏光を X 方向の直線偏光に変換するため、直線偏光が偏光板 81 で遮光されて出射しない。

40

【0051】

次に、明状態の画素 1（図 4（b）参照）における動作を説明する。暗状態の画素 1 と同様に、液晶層 20 には上方から左回りの円偏光が進入し、液晶層 20 は左回りの円偏光を X 方向の直線偏光に変換して透過させる。直線偏光は、画素電極 3 で反射する際に状態が変化せず、下方から再び液晶層 20 に進入する。そして、液晶層 20 は X 方向の直線偏

50

光を左回りの円偏光に戻し、位相差板 8 3 が Y 方向の直線偏光に変換するため、直線偏光が偏光板 8 1 を透過して出射する。

【 0 0 5 2 】

このように、反射型の液晶光変調器 1 0 を備える液晶表示装置 1 0 0 は、1 枚の偏光板 8 1 を備えて、自然光を入射して、明表示に選択した画素から光を取り出すことができる。さらに液晶表示装置 1 0 0 は、位相差板 8 3 を備えることにより、視野角を広く表示することができる。

【 0 0 5 3 】

〔ホログラフィ装置〕

本発明の実施形態に係る液晶表示装置 1 0 0 は、ホログラフィ装置に使用することができる。図 1 1 に示すように、本発明の実施形態に係るホログラフィ装置 2 0 0 は、液晶表示装置 1 0 0 と、液晶表示装置 1 0 0 の液晶光変調器 1 0 を駆動する駆動部 9 1 と、液晶表示装置 1 0 0 に光を照射する光源装置 9 2 と、液晶表示装置 1 0 0 からの出射光を再生像 V I とする出力光学系 9 6 を備える。駆動部 9 1 は、電界 E を発生させる電源を備え、外部からの信号により信号線 7 1 および走査線 7 2 を選択する。光源装置 9 2 は、レーザー光源 9 3 およびコリメータレンズ 9 4 を備え、液晶表示装置 1 0 0 に平行光を照射する。出力光学系 9 6 は、液晶表示装置 1 0 0 の寸法や再生する像 V I の寸法等に応じて、レンズやマイクロレンズを二次元配列したレンズアレイを 1 ないし複数備える（図 1 1 では 2 つのレンズを示す）。

【 0 0 5 4 】

図 1 1 に示すホログラフィ装置 2 0 0 は、入射光と出射光の光路が一致しないように、液晶表示装置 1 0 0 に入射光が少し傾斜して入射されるように光源装置 9 2 が配置され、これに合わせて出力光学系 9 6 が配置されている。液晶表示装置 1 0 0 の入射面に垂直に光を照射する（入射角 0 °）場合には、光源装置 9 2 または出力光学系 9 6 がビームスプリッタ（ハーフミラー）を備えて、入射光または出射光を反射させる構成とする。

【 0 0 5 5 】

以上のように、本発明の第 1 実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器によれば、微細化した画素を備え、かつ電界クロストークが抑制されるため、暗表示の画素に黒浮きを生じず、高コントラストに表示される液晶表示装置が得られる。そして、高精細な液晶表示装置を使用したホログラフィ装置によれば、明るい再生像が広い視域角で得られる。

【 0 0 5 6 】

〔第 2 実施形態：液晶光変調器〕

第 1 実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器は、対向電極の液晶層側の面全体が傾斜面であるため、暗表示の質を向上させようと対極電極の凸部を高く形成すると、画素の中心と開口部周縁とで画素電極 - 対向電極間距離の差が大きくなって、明表示の画素における輝度ムラが大きくなり、実効的な開口部が縮小される。そこで、第 1 実施形態と同様に暗表示の画素の黒浮きを防止しつつ、明表示の画素の輝度ムラを抑制する。以下、第 2 実施形態に係る液晶光変調器について説明する。第 1 実施形態（図 1 ~ 9 参照）と同一の要素については同じ符号を付し、説明を省略する。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 に示すように、本発明の第 2 実施形態に係る液晶光変調器 1 0 A は、対向電極（透明電極膜）4 C を除いて、図 1 および図 2 に示す第 1 実施形態に係る液晶光変調器 1 0 と同一の構造である。さらに対向電極 4 C は、下面の形状が異なる以外は、第 1 実施形態の対向電極 4 と同一の構造である。

【 0 0 5 8 】

（対向電極）

対向電極 4 C は、液晶層 2 0 に対面する下面が凹凸面であり、図 1 3 に下面を上に向けて示すように、四角錐台の 4 側面の等脚台形を内壁面とし、上底面を底面とする凹部が画素毎に形成されている。したがって、X 方向、Y 方向のそれぞれにおける画素間中心線（図 1 3 に一点鎖線で表す）上に凸稜線を有し、一方、画素中心を内包する水平面を有する

10

20

30

40

50

。言い換えると、対向電極 4 C の下面の凹凸は、第 1 実施形態と同様に、X 方向、Y 方向のそれぞれに沿った畝状の凸部 4 r を画素間に有し、この凸部 4 r の断面形状は、底辺を上（透明基板 5 の側）に向けた二等辺三角形となる。ただし、本実施形態では、凸部 4 r の幅 w_{rx} 、 w_{ry} が、それぞれ画素長 p_x 、 p_y よりも短く（ $p_x > w_{rx}$ 、 $p_y > w_{ry}$ ）、また、X、Y 方向で同じ長さとする（ $w_{rx} = w_{ry} = w_r$ ）。

【0059】

本実施形態においても、対向電極 4 C が、画素間中心で突出するように形成されていることにより、電界の漏れが抑制される（図 7 参照）。一方で、凸部 4 r が画素全体に形成されずに、対向電極 4 C の下面が画素中央部に水平面を有しているため、凸部 4 r の高さ h が大きくても開口部高低差 h_a が小さく、明表示の画素内のムラが抑制される。特に好ましくは、凸部 4 r の幅 w_r が画素電極 3, 3 の間隙 l_g 以下（ $w_r < l_g$ ）、すなわち、凸部 4 r が非開口部に限定して設けられ、対向電極 4 C の下面が開口部全体において水平面で開口部高低差 h_a が 0 である。このような対向電極 4 C によれば、凸部 4 r のアスペクト比が高くても、無電界時に、開口部における対向電極 4 C の近傍の液晶分子 2 が傾斜しない。したがって、対向電極 4 C や配向膜 2 1 の形成が困難にならない範囲で、凸部 4 r の高さ h を大きく設計することができる。すなわち、第 1 実施形態と同様に、凸部 4 r のアスペクト比が 1 以下（ $h < w_r$ ）であることが好ましい。また、凸部 4 r が間隙 l_g を超える幅 w_r （ $w_r > l_g$ ）で開口部に及んで設けられる場合には、アスペクト比 $1/2$ 以下（ $2h < w_r$ ）であることがより好ましく、 $1/3$ 以下（ $3h < w_r$ ）であることがさらに好ましい。また、凸部 4 r は、X 方向と Y 方向とで幅 w_{rx} 、 w_{ry} が異なってもよい。

10

20

【0060】

（液晶光変調器の変形例）

本実施形態に係る液晶光変調器 10 A においても、対向電極 4 C の下面は、X 方向のみ凹凸が形成されていてもよい。すなわち、図 14 に示すように、Y 方向に沿った畝状の凸部 4 r を形成された対向電極 4 D を適用することができる。また、図 15 に示すように、凸部 4 r の頂部にも水平面を備えて、断面形状を等脚台形としてもよい。このような対向電極 4 E の凸部 4 r の頂部の幅は、幅 w_r よりも小さいものとし、凸部 4 r の傾斜面（対向電極 4 E の下面）の勾配が 2 以下となるように、 $(w_r - h)$ 以下であることが好ましい。また、凸部 4 r の頂部の幅は、画素電極 3, 3 の間隙 l_g よりも小さいことが好ましい。

30

【0061】

さらに別の変形例として、図 16 に示すように、高アスペクト比で幅（ w_{r1x} 、 w_{r1y} ）の狭い凸部 4 r₁ を、比較的アスペクト比が低く画素中心まで設けられた凸部 4 r₂ に積み重ねた 2 段構造の凸部 4 r を形成された対向電極 4 F を適用することができる。凸部 4 r₁ は、画素間中心上に凸稜線を有し、幅 w_{r1x} 、 w_{r1y} （適宜まとめて、幅 w_{r1} ）が画素長 p_x 、 p_y よりも小さく（ $w_{r1x} < p_x$ 、 $w_{r1y} < p_y$ ）、好ましくは画素電極 3, 3 の間隙 l_g 以下（ $w_{r1} < l_g$ ）、すなわち非開口部に限定して設けられる。凸部 4 r₂ は、第 1 実施形態の対向電極 4（図 5 参照）の凸部 4 r のように、四角錐の 4 側面で構成され、画素中心に凹頂点を有する。対向電極 4 F は、当該対向電極 4 F および配向膜 2 1 の形成を困難にすることなく凸部 4 r の高さ h を大きく設計することができて、電界の漏れを抑制する効果を高くし、かつ、開口部における下面の勾配が緩いので、無電界時に対向電極 4 F の近傍の液晶分子 2 が傾斜しない。そのために、対向電極 4 F は、凸部 4 r₁ のアスペクト比が 1 以下であることが好ましく、凸部 4 r₂ のアスペクト比が $1/2$ 以下（下面の勾配が 1 以下）であることが好ましく、 $1/3$ 以下（下面の勾配が $2/3$ 以下）であることがより好ましい。

40

【0062】

第 2 実施形態およびその変形例の対向電極 4 C、4 D、4 E、4 F は、第 1 実施形態と同様に、透明電極材料をナノインプリントリソグラフィとエッチングによって加工して形成することができる。

【0063】

50

第2実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器10Aは、第1実施形態に係る液晶光変調器10と同様に、液晶表示装置100に使用され(図10参照)、さらにこの液晶表示装置100は、ホログラフィ装置200に使用することができる(図11参照)。

【0064】

以上のように、本発明の第2実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器によれば、第1実施形態と同様に、微細化した画素を備えて、暗表示の画素に黒浮きを生じず、高コントラストに表示される液晶表示装置が得られ、さらに、実効的な開口率が広くなり、明表示の画素が高輝度となる。

【0065】

〔第3実施形態：液晶光変調器〕

第1、第2実施形態およびその変形例に係る液晶光変調器は、反射型の空間光変調器であるが、透過型の空間光変調器とすることもできる。以下、第3実施形態に係る液晶光変調器について説明する。第1、第2実施形態(図1~16参照)と同一の要素については同じ符号を付し、説明を省略する。

【0066】

本発明の第3実施形態に係る液晶光変調器10Bは、図17に示すように、液晶層20、液晶層20を上下から挟む、対向電極(透明電極膜)4Eと画素毎に設けられた画素電極3A、画素電極3Aに接続する駆動回路7(図4参照)を上備える透明基板5B、ならびに最上層の透明基板5Aを備える。液晶光変調器10Bはさらに、液晶層20の上下にそれぞれ接触して設けられた配向膜21, 22、透明基板5B上でY方向に延設した信号線71ならびにX方向に延設した走査線72および共通電極線73A(適宜まとめて、配線71, 72, 73A)と、画素電極3Aおよび配線71, 72, 73Aの層間等を絶縁する絶縁層6を備える。本実施形態に係る液晶光変調器10Bは、下方から入射された光を透過して上方へ出射し、その際に選択された画素において光の偏光方向を変化させる透過型の空間光変調器である。そのため、液晶光変調器10Bにおいては、画素電極3Aが、光を透過するように透明電極材料で形成される。そして、Si基板70に代えて透明基板5Bを備え、透明基板5B上に駆動回路7(トランジスタ7t、蓄積容量7c)が形成される。また、液晶層20は、1回(片道で)透過した光を90°旋光させる厚さdであることが好ましい。

【0067】

対向電極4Eは、第2実施形態の変形例で説明した通りの形状である(図15参照)。本実施形態においては、被成膜面に凹凸を形成された透明基板5Aに、透明電極材料を一樣な厚さに成膜して対向電極4Eが形成されている。画素電極3Aは、対向電極4Eと同様に、導電性酸化物で形成され、公知の方法により成膜、フォトリソグラフィおよびエッチング等により所望の平面視形状に加工される。本実施形態において、画素電極3Aは、トランジスタ7tを形成される領域を避けて形成され、矩形の1隅を切欠いた平面視形状とする。

【0068】

透明基板5A、および下側の透明基板5Bは、第1実施形態の透明基板5と同様に公知の透明基板材料が適用される。また、透明基板5Aは、前記したように対向電極4E側の面に凹凸が形成されるため、透明な樹脂を適用してもよく、あるいはガラス基板等に樹脂を積層してもよい。一方、透明基板5Bは、駆動回路7、特にトランジスタ7tの半導体材料を形成するための耐熱性を有する材料を適用する。

【0069】

トランジスタ7tは、薄膜トランジスタ(TFT)からなり、TFTの半導体材料として、酸化半導体、アモルファスシリコン(a-Si)、多結晶シリコン(poly-Si)等が挙げられる。トランジスタ7tは、微細化のために、比較的高い電子移動度を示す酸化半導体やpoly-Siを適用することが好ましい。液晶光変調器10Bにおいて、トランジスタ7tは画素の隅に配置され、この領域には光が入射しないように構成される。蓄積容量7cは、画素電極3Aの下の層間絶縁膜(絶縁層6)を、さらにその下に

10

20

30

40

50

形成した共通電極線 7 3 A と画素電極 3 A とで挟んだ積層構造とする。ここでは、画素の開口率を低下させないように、共通電極線 7 3 A が透明電極材料で形成されているが、配置等によっては金属電極材料を適用されていてもよい。信号線 7 1 および走査線 7 2 は、平面視で画素間（非開口部）に配置される。

【 0 0 7 0 】

（液晶光変調器の製造方法）

本実施形態に係る液晶光変調器は、公知の透過型の液晶光変調器と同様の製造方法において、対向電極の成膜前に、透明基板 5 A の表面（下面）に凹凸を形成する工程を追加して製造することができる。液晶光変調器の製造方法は、透明基板 5 A 上に対向電極 4 E および上側の配向膜 2 1 を形成する対向基板工程と、透明基板 5 B 上に駆動回路 7、配線 7 1, 7 2, 7 3 A、画素電極 3 A および下側の配向膜 2 2 を形成する回路基板工程と、を個別に行い、その後、これらの透明基板 5 A と透明基板 5 B を、配向膜 2 1, 2 2 同士が対面するように重ね合わせ、間に液晶材料を封入して液晶層 2 0 を形成するセル組立工程を行って完成となる。セル組立工程は、第 1 実施形態と同様である。以下、対向基板工程および回路基板工程の詳細について一例を説明する。

10

【 0 0 7 1 】

対向基板工程について説明する。本実施形態においては、透明基板 5 A の表面（下面）を加工して凹凸形状を形成する。透明基板 5 A は、第 1 実施形態の対向電極 4 の形成と同様に、ナノインプリントリソグラフィとエッチングによって加工して形成することができる（図 6 参照）。あるいは、樹脂材料を適用して、金型で直接に凹凸を転写して成型することもできる。透明基板 5 A の形成後、その凹凸面上に導電性酸化物を成膜して対向電極 4 E を形成する。対向電極 4 E 上に、第 1 実施形態と同様に、配向膜 2 1 を材料に応じた方法で均一な厚さに形成する。

20

【 0 0 7 2 】

回路基板工程について説明する。透明基板 5 B 上に非晶質 Si (a - Si) を CVD 法等で成膜し、600 程度のアニール処理で a - Si 膜を poly - Si に結晶化する。poly - Si 膜を加工して、トランジスタ 7 t のソースとドレインを形成する。その上に絶縁膜を成膜して、トランジスタ 7 t のゲート絶縁膜とする。ゲート絶縁膜上に、金属電極材料を成膜、加工して、トランジスタ 7 t のゲートおよび走査線 7 2 を形成する。また、透明電極材料を成膜、加工して共通電極線 7 3 A を形成する。ゲートの上からトランジスタ 7 t の poly - Si 膜に不純物を注入する。次に、層間絶縁膜を成膜して、コンタクトホールを形成する。層間絶縁膜上に金属電極材料を成膜、加工して、信号線 7 1 を形成する。さらに層間絶縁膜を成膜して、コンタクトホールを形成する。層間絶縁膜上に透明電極材料を成膜、加工して、画素電極 3 A を形成する。その上に、配向膜 2 2 を形成する。

30

【 0 0 7 3 】

本実施形態に係る液晶光変調器 1 0 B の動作は、図 7 を参照して説明した第 1 実施形態と同様である。また、対向電極 4 E に代えて、対向電極 4, 4 A ~ 4 D, 4 F を適用することができる。

【 0 0 7 4 】

〔液晶表示装置〕

本発明の第 3 実施形態に係る液晶光変調器 1 0 B は、一般的な透過型の液晶光変調器と同様に液晶表示装置に使用される。図 1 8 に示すように、本発明の実施形態に係る液晶表示装置 1 0 0 A は、液晶光変調器 1 0 B、ならびに、液晶光変調器 1 0 B の上側に配置された偏光板（偏光子）8 1 および下側に配置された偏光板（偏光子）8 2 を備え、偏光板 8 2 の下方から光を照射されて、偏光板 8 1 の上方に画像を表示する。あるいは、液晶表示装置 1 0 0 A は、上方から光を照射されて、下方に画像を表示することもできる。液晶表示装置 1 0 0 A はさらに、液晶光変調器 1 0 B と偏光板 8 1, 8 2 とのそれぞれの間に位相差板 8 3, 8 4 を備えることが好ましい。また、液晶光変調器 1 0 B の画素の非開口部を遮光するように、格子状のブラックマトリクスを備えてもよい（図示せず）。フルカ

40

50

ラー表示装置とする場合には、ブラックマトリクスと共にカラーフィルタを備える（図示せず）。カラーフィルタおよびブラックマトリクスは、液晶光変調器 10B の表示側に配置する。液晶表示装置 100A に照射する光は、外光やレーザー光等、用途に応じて選択される。

【0075】

偏光板 81, 82 は共に、液晶表示装置 100 の偏光板 81 と同様の構造であり、液晶表示装置 100A においては、互いにクロスニコル配置する。上側すなわち光の出射側の偏光板 81 は、透過軸を 90° （Y 方向）（吸収軸を 0° ）にして配置され、振動方向 90° の直線偏光を透過させる。一方、下側の偏光板 82 は、透過軸を 0° （X 方向）（吸収軸を 90° ）にして配置され、振動方向 0° の直線偏光を透過させる。位相差板 83, 84 は共に、液晶表示装置 100 の位相差板 83 と同様の構造であり、同じく $1/4$ 位相差板（ $1/4$ 波長板）を適用する。位相差板 83 は遅相軸を 45° にして、位相差板 84 は遅相軸を 135° にして、それぞれ配置される

10

【0076】

（液晶表示装置の動作）

本実施形態に係る液晶表示装置の動作について説明する。まず、暗状態の画素 1（図 4（a）参照）における動作を説明する。下方から入射した自然光は、偏光板 82 によって X 方向の直線偏光となり、この直線偏光が位相差板 84 によって、右回りの円偏光に変換される。この円偏光が、透明基板 5B および画素電極 3A 等を透過して、液晶層 20 に進入する。液晶層 20 は液晶分子 2 が垂直方向であるため、右回りの円偏光はそのままで透過し、対向電極 4E および透明基板 5A を透過して、位相差板 83 に進入する。位相差板 83 は、右回りの円偏光を X 方向の直線偏光に変換するため、直線偏光が偏光板 81 で遮光されて出射しない。

20

【0077】

次に、明状態の画素 1（図 4（b）参照）における動作を説明する。暗状態の画素 1 と同様に、液晶層 20 には下方から右回りの円偏光が進入し、ここでは、液晶層 20 は右回りの円偏光を左回りの円偏光に変換して透過させる。そして、位相差板 83 が左回りの円偏光を Y 方向の直線偏光に変換するため、直線偏光が偏光板 81 を透過して出射する。

【0078】

このように、透過型の液晶光変調器 10B を備える液晶表示装置 100A は、2 枚の偏光板 81, 82 を両側に備えて、自然光を入射して、明表示に選択した画素から光を取り出すことができる。さらに液晶表示装置 100A は、位相差板 83, 84 を備えることにより、視野角を広く表示することができる。なお、液晶光変調器 10B は、一方の面に反射膜を設けたり、透明基板 5B を反射基板としたりして、反射型の液晶光変調器として、液晶表示装置 100（図 10 参照）に使用されてもよい。

30

【0079】

〔ホログラフィ装置〕

本発明の実施形態に係る液晶表示装置 100A は、液晶表示装置 100 と同様に、図 1 に示すホログラフィ装置 200 に使用することができる。本実施形態では、光源装置 92 と出力光学系 96 が、間に液晶表示装置 100A を挟んで正対して配置される。

40

【実施例】

【0080】

本発明の効果を確認するために、シミュレーションにより、本発明の第 1、第 2 実施形態に係る液晶光変調器を模擬したサンプルの光出力特性を観察した。

【0081】

サンプルは、共通の仕様として、下から順に、Si 基板、 SiO_2 膜、膜厚 100nm の Al（画素電極）、垂直配向膜、VA 液晶（液晶層）、垂直配向膜、ITO 膜（対向電極）、ガラス基板とした。対向電極（ITO 膜）の厚さは、最薄部で 20nm とした。また、図 19 で座標平面上に示すように、画素サイズ（ピッチ）は $1\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ （ $p_x = 1\mu\text{m}$ 、 $p_y = 2\mu\text{m}$ ）とし、画素電極（同図に太線枠で表す）は $0.58\mu\text{m} \times 1.5$

50

8 μm ($l_g = 0.42 \mu\text{m}$)とした。サンプル毎に液晶層の厚さおよび対向電極の形状を変えて、シミュレーションを実行した。シミュレーション上、膜厚100nmのAl(画素電極)の反射率は100%とみなして計算した。

【0082】

(実施例1)

図5に示す対向電極($w_{rx} = p_x = 1 \mu\text{m}$ 、 $w_{ry} = p_y = 2 \mu\text{m}$)を備えた液晶光変調器(図1参照)のサンプルについて観察した。表1に示すように、液晶層の厚さ(画素中心における厚さ、セル厚 d)を1 μm とし、対向電極の凸部の高さ(高低差) h を100nmから900nmまで100nm刻みで変化させたサンプル(No.1~9)、セル厚 d を1.5 μm 、対向電極の凸部の高さ h を500nmとしたサンプル(No.11)、セル厚 d を2 μm 、対向電極の凸部の高さ h を500nmとしたサンプル(No.12)を設定した。なお、対向電極の下面の稜線を、図19に破線で表す。

10

【0083】

また、図8に示す対向電極($w_{rx} = p_x = 1 \mu\text{m}$ 、 $w_{ry} = 0$)を備えた液晶光変調器のサンプルについて観察した。セル厚 d を1 μm 、対向電極の凸部の高さ h を300nmとしたサンプル(No.10)を設定した。さらに、凸部のない厚さ20nmの対向電極($h = 0$ 、 $w_r = 0$)を備えた液晶光変調器のサンプル(図34参照)を比較例1~3として、セル厚 d を1 μm 、1.5 μm 、2 μm (Ref.1, 2, 3)に設定した。

【0084】

【表1】

20

サンプル No.	セル厚 d (μm)	対向電極凸部		
		幅 w_{rx} (μm)	幅 w_{ry} (μm)	高さ h (nm)
1	1	1	2	100
2	1	1	2	200
3	1	1	2	300
4	1	1	2	400
5	1	1	2	500
6	1	1	2	600
7	1	1	2	700
8	1	1	2	800
9	1	1	2	900
10	1	1	0	300
11	1.5	1	2	500
12	2	1	2	500
13	1	0.3	0.3	300
14	1	0.4	0.4	300
15	1	0.6	0.6	300
Ref.1	1	0	0	0
Ref.2	1.5	0	0	0
Ref.3	2	0	0	0

30

40

【0085】

図19に示すように、対角線上に2画素ずつ、ON(印加電圧5V)、OFF(0V)として、液晶シミュレータ(LCDMaster、シンテック社製)を用いて、電位分布と液晶配向を求めた。さらに、サンプルの上方にクロスニコル配置した2枚の偏光板を介在させて波長633nmのレーザー光を入射したときの反射率の平面分布を求めた。

50

【0086】

No. 3 ($h = 300 \text{ nm}$) および比較例 1 について、電位分布と液晶配向を、図 20 および図 21 に示す。また、No. 3、No. 10、および比較例 1 について、反射率の二次元分布図を図 22 (a)、(b)、(c) に示す。No. 11 および比較例 2 について、電位分布と液晶配向を図 23 および図 24 に、反射率の二次元分布図を図 25 (a)、(b) に示す。また、No. 3、No. 10、No. 11、No. 12、および比較例 1 ~ 3 について、反射率の分布を図 26 に示す。

【0087】

電位分布と液晶配向は、OFF と ON の画素の各中心を通る X 方向に沿った ($Y = 1.0 \mu\text{m}$ 、図 19 の一点鎖線上) 断面におけるものを示し、さらに対向電極と画素電極を点線で表す。電位分布図の等電位線は、 0.5 V 刻みであり、一部に電位 (単位: V) を付す。反射率分布は、前記一点鎖線上の分布である。

10

【0088】

No. 1 ~ 10 および比較例 1 ($h = 0$) より、暗表示 (OFF) と明表示 (ON) の各画素の中心 ($X = 0.5 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \mu\text{m}$) における反射率およびコントラスト比の凸部の高さ依存性のグラフを図 27 に示す。なお、明表示の画素における反射率は、線形グラフでも表す。

【0089】

対向電極が平坦な比較例 1 では、図 21 に示すように暗表示の画素で電界クロストークを生じ、図 22 (c) に示すように暗表示の画素が十分に暗くならなかった。これに対して、対向電極に凸部が形成されている No. 3 および No. 10 は、図 20 に示すように暗表示の画素で斜め方向、横方向の双方で電界クロストークが抑制され、図 22 (a)、(b) に示すように暗表示の画素が暗くなった。さらに、図 26 に示すように、対向電極の凸部の有無による暗表示の画素における反射率の違いは明らかである。また、図 27 に示すように、対向電極の凸部の高さ h が大きいほど、暗表示の画素が暗くなって 0% に近付いた。一方で、明表示の画素も暗くなったが、コントラスト比としては向上した。なお、No. 3 と No. 10 とで、X 方向における反射率の分布にほとんど違いが見られなかった。

20

【0090】

$d = 1.5 \mu\text{m}$ の No. 11 および比較例 2 についても、 $d = 1 \mu\text{m}$ の No. 3 および比較例 1 と同様の傾向が確認された。ただし、比較例 2 は、図 24 および図 25 (b) に示すように、比較例 1 よりも電界クロストークが大きく、暗表示の画素が明るかった。そのため、対向電極の凸部の高さ h がセル厚比で No. 3 以上の No. 11 でも、図 23 および図 25 (a) に示すように、暗表示の画素の電界クロストークが十分に抑制されず、比較例 2 よりも十分に暗いものの、No. 3 には及ばなかった。さらに、 $d = 2 \mu\text{m}$ の No. 12 および比較例 3 では、電界クロストークがもっと大きくなり、図 26 に示すように、対向電極に凸部を設けることによって一定の効果があるものの、暗表示の画素が十分に暗くならなかった。

30

【0091】

ここで、図 26 に示すように、No. 3、No. 10、No. 11、No. 12 は、明表示の画素において、中心 ($X = 1.5 \mu\text{m}$) をピークとする反射率の位置依存性が比較例 1 ~ 3 よりも大きかった。これは、対向電極の形状により、液晶層の厚さすなわち光路長が画素中心で最大になるような勾配を有するので、液晶分子の状態 (向き) が同じであれば反射光の旋光角が画素中心寄りほど大きくなることによると推測される。さらに、セル厚 d の大きい No. 11 および No. 12 は、暗表示の画素においても、中心 ($X = 0.5 \mu\text{m}$) をピークに反射率が高かった。なお、それぞれ同じセル厚 d の比較例 2, 3 は、反射率が画素中央でほぼ最小となる平坦な分布を示した。これは、対向電極の凸部の傾斜面が急 (XZ 面において 45°) なために、無電界状態において、対向電極近傍の液晶分子が傾斜して配向し、特に、2 面または 4 面の傾斜面で両側から挟まれている対向電極の凹頂点や凹稜線に近い領域、すなわち画素中心寄りの液晶分子が影響を受けやすいことに

40

50

よると考えられる。また、前記したように、液晶層の厚さが勾配を有するので反射光の旋光角が画素中心寄りほど大きい。No. 11およびNo. 12は、電界クロストークが十分に抑制されずに画素中心でもある程度の液晶分子が漏れ電界で傾斜したと推測される。これらが合わさり、No. 11およびNo. 12は、暗表示の画素においても、画素中心に近いほど反射率が高いという位置依存性を示したと推測される。

【0092】

(実施例2)

図13に示す対向電極を備えた液晶光変調器(図12参照)の、セル厚 d を $1\mu\text{m}$ 、対向電極の凸部の高さ h を 300nm として、幅 $w_r (=w_{rx}=w_{ry})$ を 300nm 、 400nm 、 600nm としたサンプル(No. 13, 14, 15)を設定した(表1参照)。前記実施例1と同様に、電位分布と液晶配向、反射率の平面分布を求めた。No. 13, 14, 15について、電位分布と液晶配向を図28, 29, 30に、反射率の二次元分布図を図31(a)、(b)、(c)に示す。

10

【0093】

No. 13, 14, 15、No. 3($w_r = 1\mu\text{m}$)、および比較例1($w_r = 0$)について、反射率の分布を図32(a)に示し、また、明表示の画素($X = 1.0 \sim 2.0\mu\text{m}$)における反射率の分布を、画素中心($X = 1.5\mu\text{m}$)を1に換算して図32(b)に示す。また、前記実施例1と同様に、暗表示(OFF)と明表示(ON)の各画素の中心($X = 0.5\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$)における反射率およびコントラスト比の凸部の幅依存性のグラフを図33に示す。なお、明表示の画素における反射率は、線形グラフでも表す。

20

【0094】

図28~30および図20に示すように、対向電極の凸部の幅 w_r を狭く形成しても、電界クロストークの抑制の効果にほとんど違いがなかった。そして、No. 13, 14, 15は、画素中央に液晶層の厚いまとまった領域を有するので、図31および図32に示すように、明表示の画素の明るい領域が、No. 3, 10(図22(a)、(b)参照)よりも広がった。特に、図32(b)に示すように、対向電極の凸部の幅 w_r が画素電極の間隙 l_g と同等以下のNo. 13, 14は、比較例1以上に明るい領域が広がった。一方で、図32(a)および図33に示すように、対向電極の凸部の幅 w_r が狭いほど、暗表示の画素において中心($X = 0.5\mu\text{m}$)の反射率が高くなり、コントラストが低下した。ただし、No. 13, 14, 15は、開口部における周縁では反射率が十分に低く、画素の開口部全体としては十分に暗く表示された。これは、液晶層において、厚さ方向中心部等、画素電極や対向電極の表面の配向膜からの距離の離れた領域では、配向膜による配向規制力が弱く、液晶分子が起立した状態を維持し難く、弱い電界でも向きが変化し易いことによると推測される。対向電極の凸部のない領域は、画素電極-対向電極間距離が最大(=セル厚 d)となり、厚さ方向中心部で、画素電極、対向電極のいずれの側の配向膜からも配向規制され難い。ただし、画素の開口部における周縁等は、対向電極の凸部の傾斜面上の配向膜からの距離が近いので、配向規制力が十分に働く。したがって、対向電極の凸部の幅 w_r が狭いほど、配向規制力の弱い領域が画素中心で広がって、明表示の画素からの弱い漏れ電界で傾斜する液晶分子が多くなり、反射率が高くなったと考えられる。

30

40

【0095】

以上、本発明の液晶光変調器、液晶表示装置、およびホログラフィ装置を実施するための各実施形態について述べてきたが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。

【符号の説明】

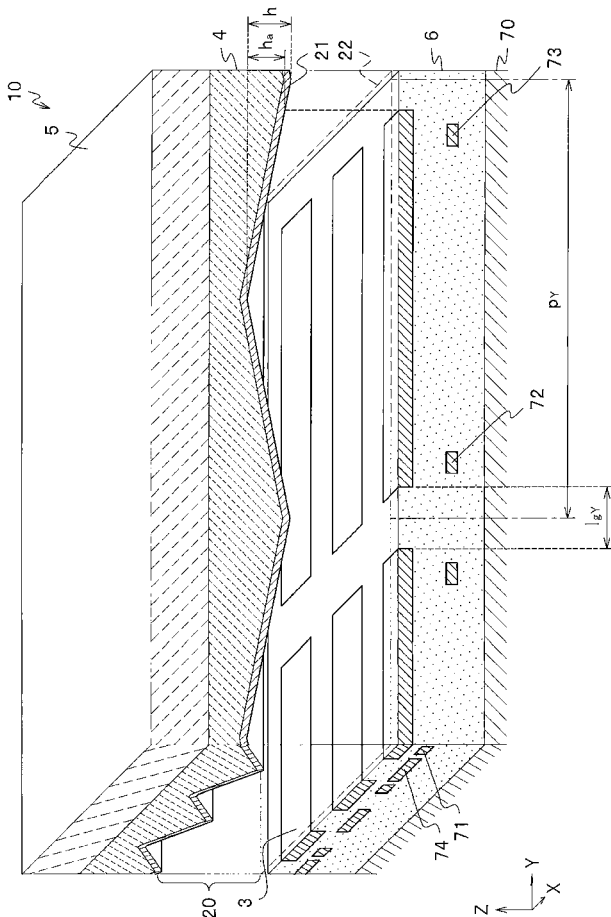
【0096】

- 100, 100A 液晶表示装置
- 10, 10A, 10B 液晶光変調器
- 1 液晶光学素子、画素

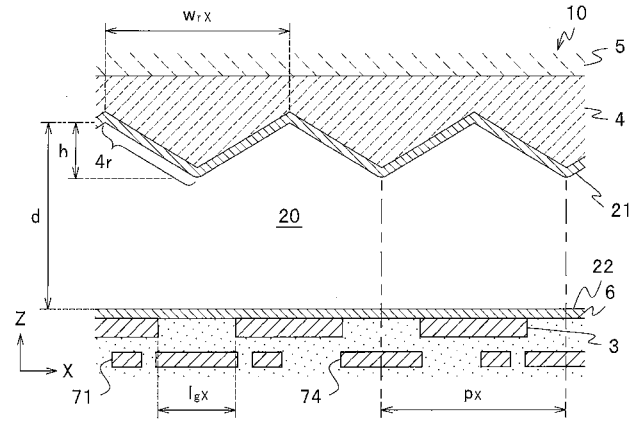
50

- 200 ホログラフィ装置
- 20 液晶層
- 2 液晶分子
- 21, 22 配向膜
- 3, 3A 画素電極
- 4, 4A ~ 4F 対向電極 (透明電極膜)
- 5, 5A 透明基板
- 5B 透明基板
- 6 絶縁層
- 70 Si基板 (回路基板)
- 7 駆動回路
- 81, 82 偏光板 (偏光子)
- 83, 84 位相差板

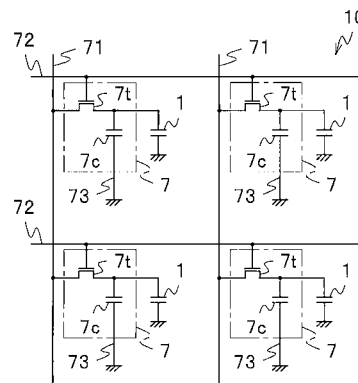
【図1】



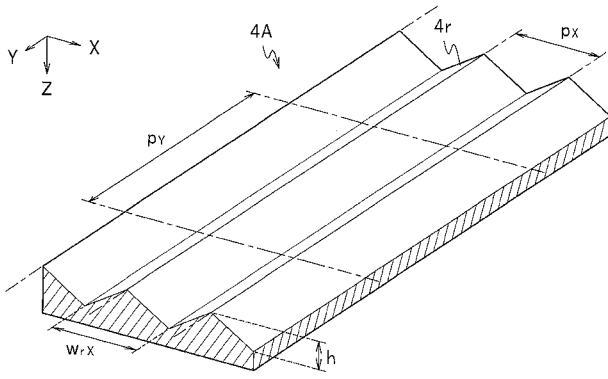
【図2】



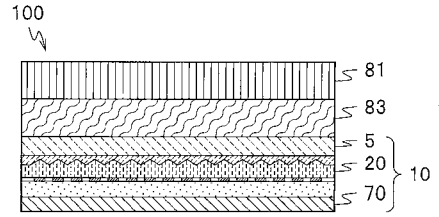
【図3】



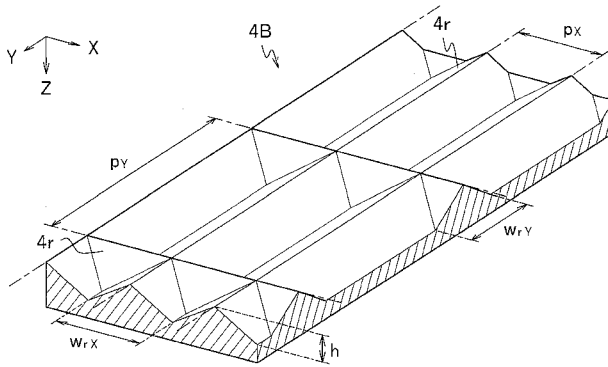
【 図 8 】



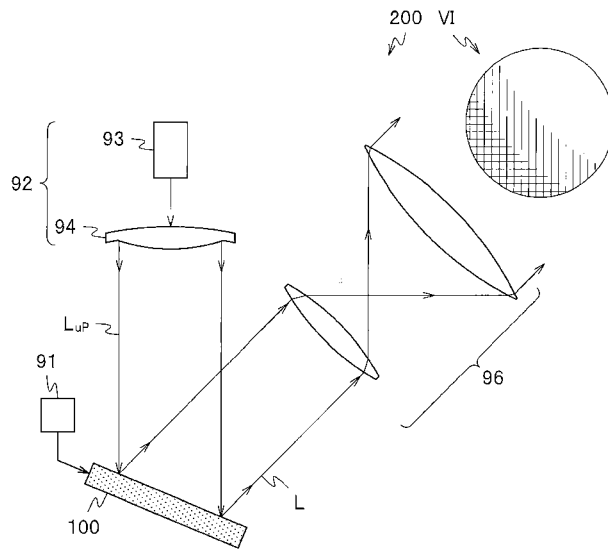
【 図 10 】



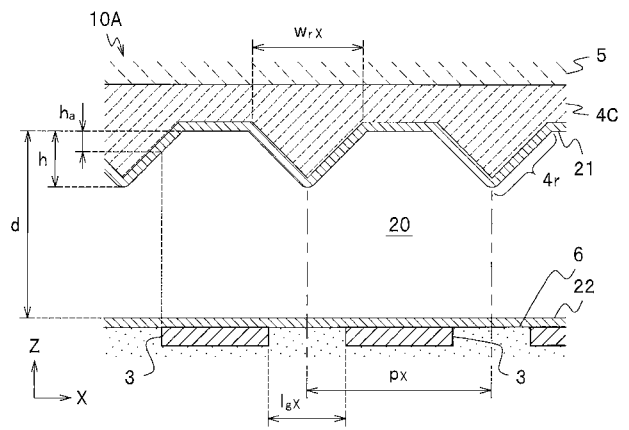
【 図 9 】



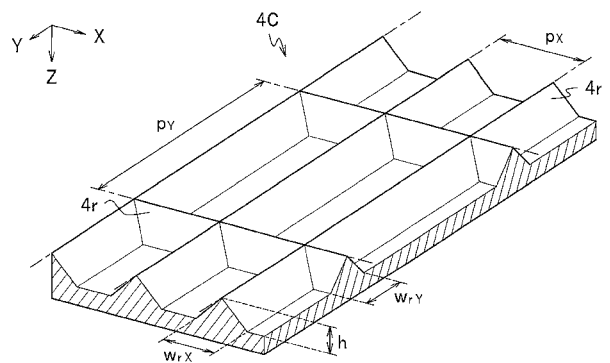
【 図 11 】



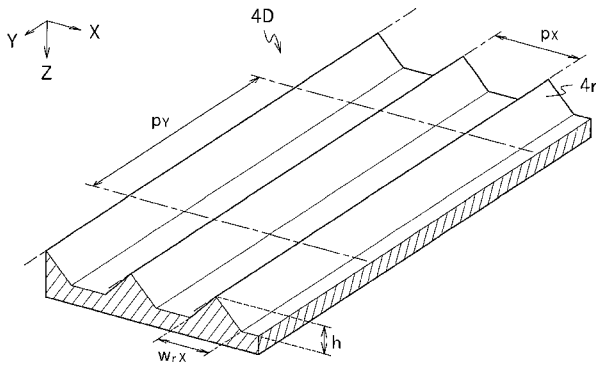
【 図 12 】



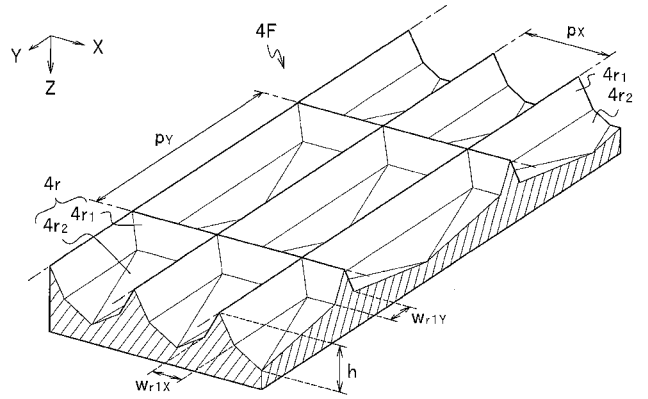
【 図 13 】



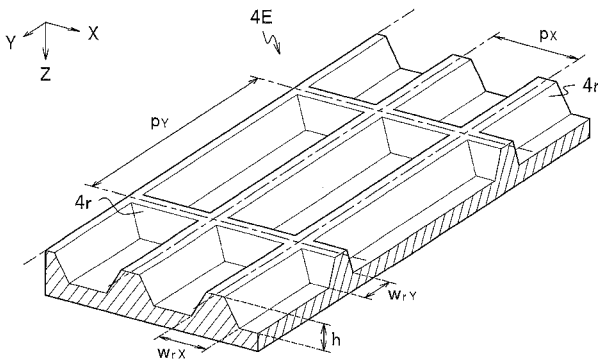
【 図 1 4 】



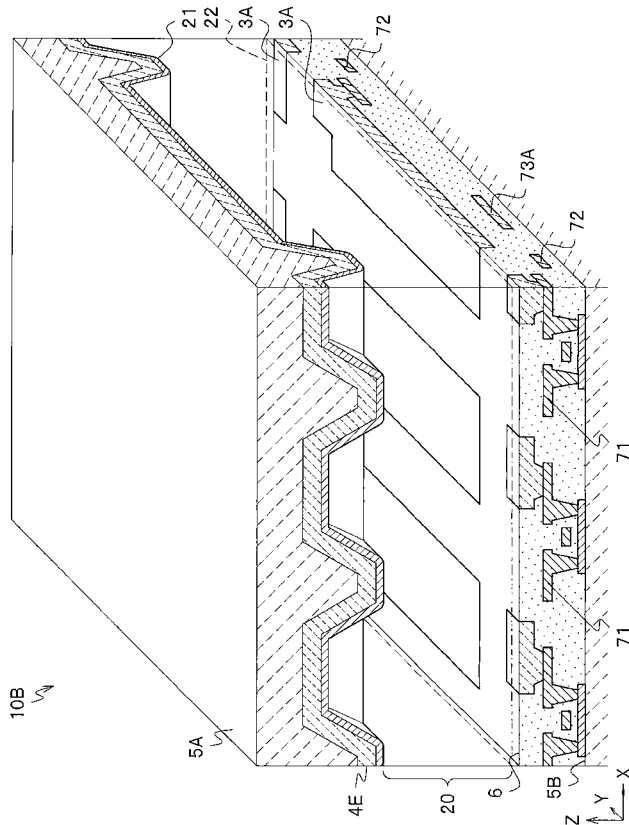
【 図 1 6 】



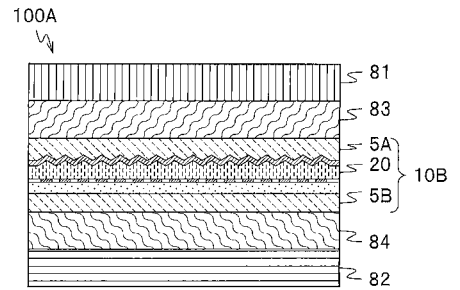
【 図 1 5 】



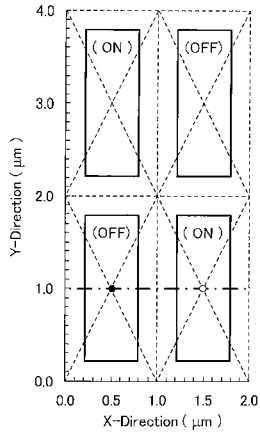
【 図 1 7 】



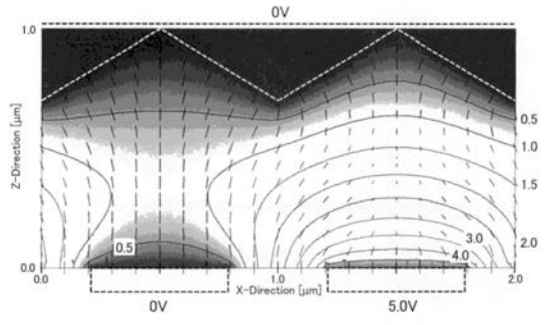
【 図 1 8 】



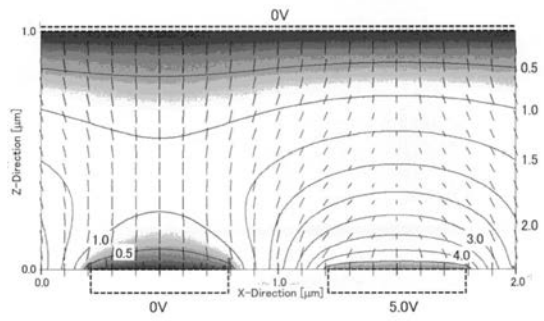
【 図 19 】



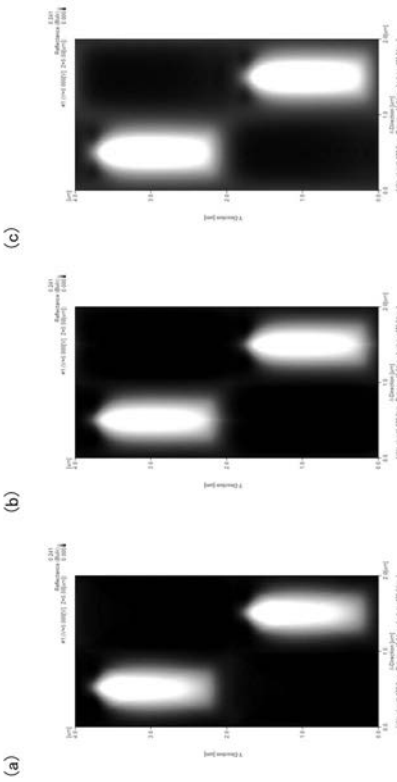
【 図 20 】



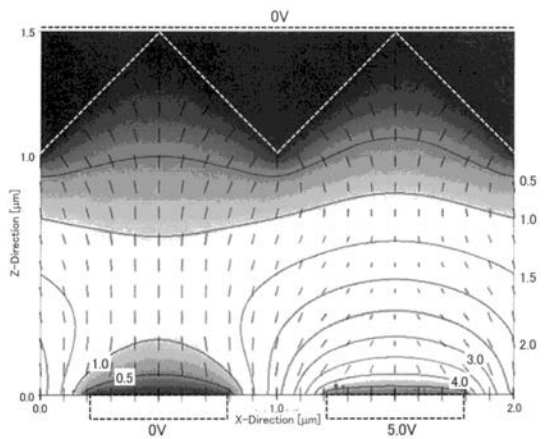
【 図 21 】



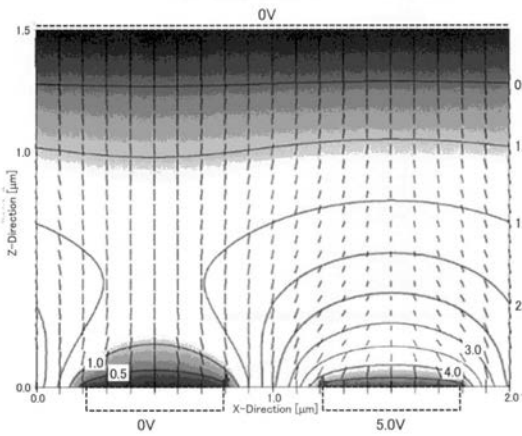
【 図 22 】



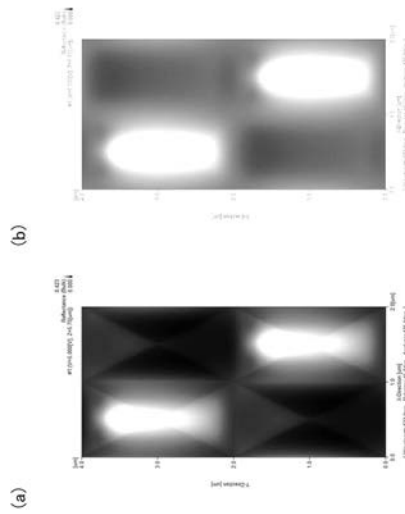
【 図 23 】



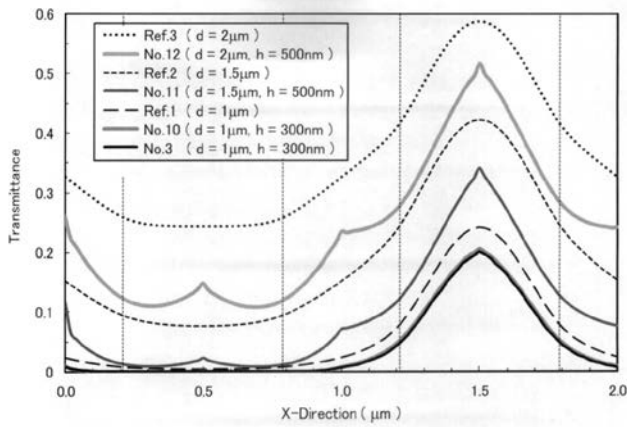
【 図 2 4 】



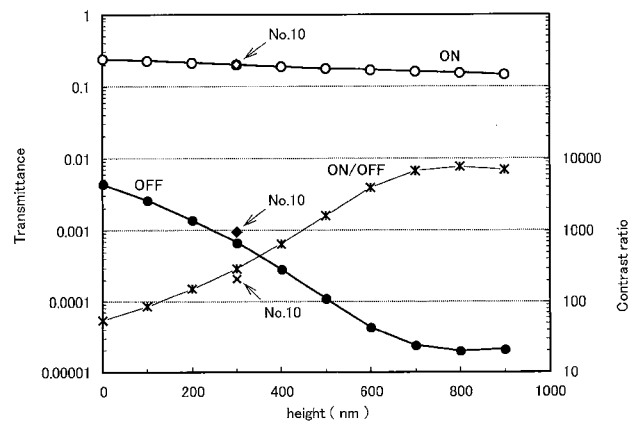
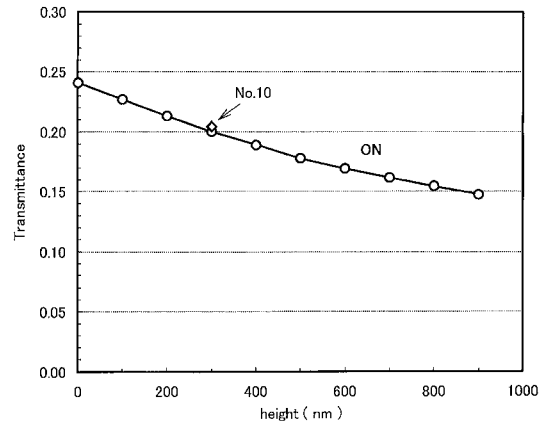
【 図 2 5 】



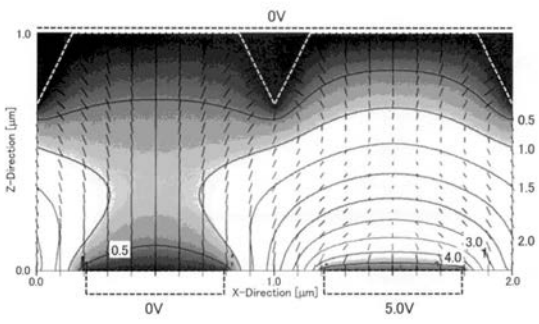
【 図 2 6 】



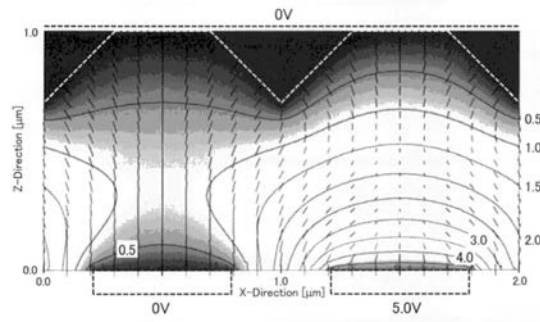
【 図 2 7 】



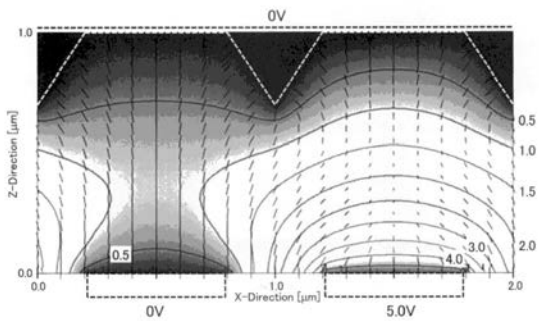
【 図 2 8 】



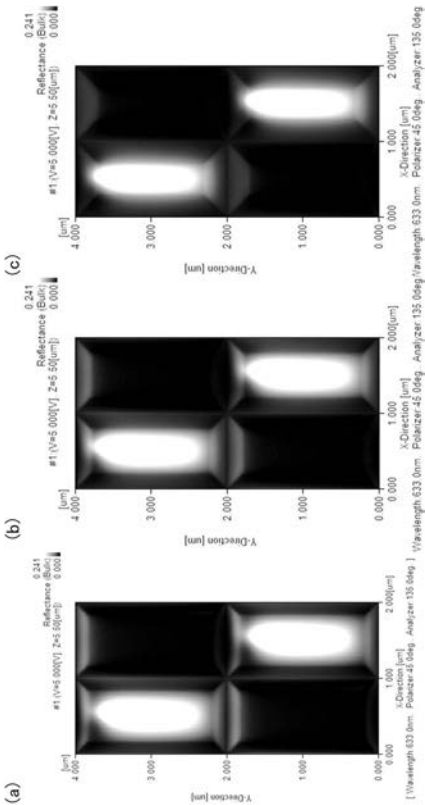
【 図 3 0 】



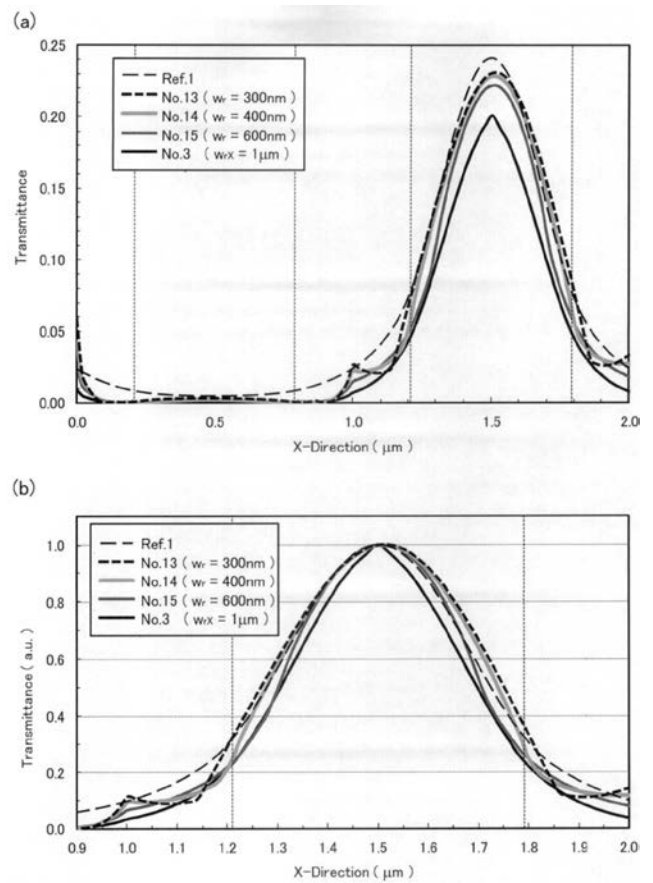
【 図 2 9 】



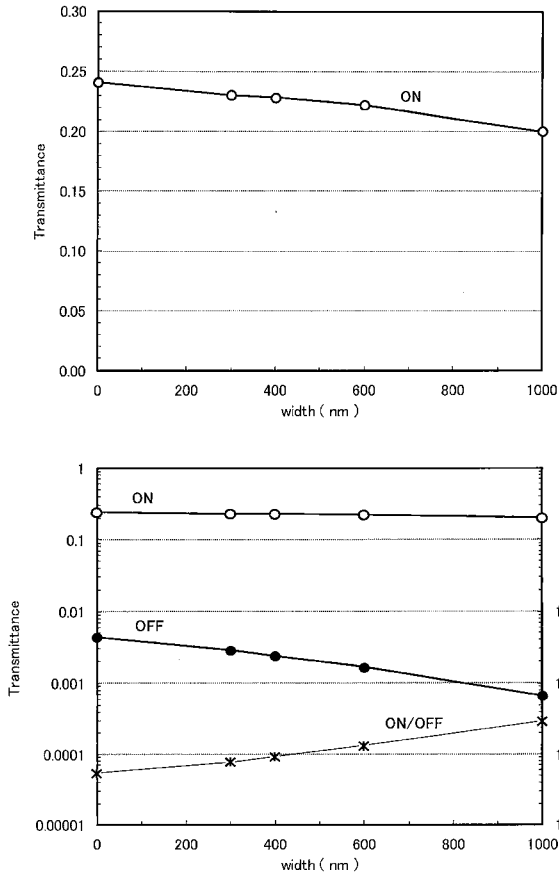
【 図 3 1 】



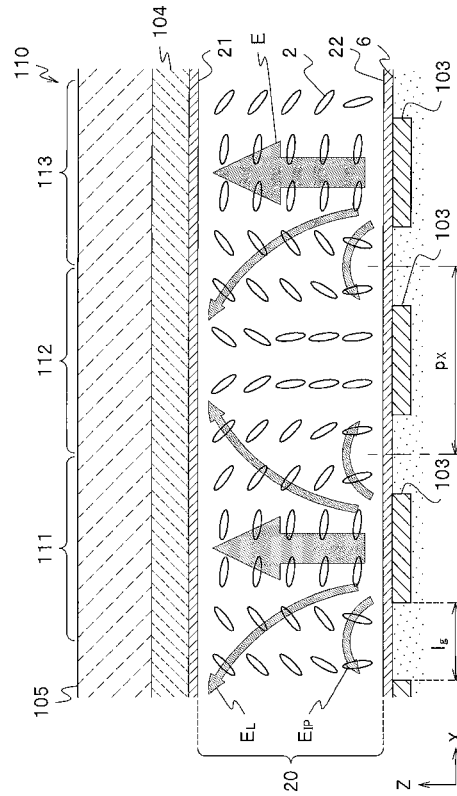
【 図 3 2 】



【 図 3 3 】



【 図 3 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 吉野 数馬

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

(72)発明者 東田 諒

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

(72)発明者 船橋 信彦

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

(72)発明者 菊池 宏

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

Fターム(参考) 2H088 EA02 EA37 EA48 HA01 HA02 HA08 HA21 HA25 HA28 JA10

MA02

2H092 GA13 GA16 GA17 GA59 HA05 JA25 JA46 JB07 JB16 MA13

NA01 PA01

2H189 AA07 AA10 EA04Y FA22 FA64 JA10 LA01 LA03 LA10

专利名称(译)	液晶光调制器，液晶显示装置和全息装置		
公开(公告)号	JP2020064192A	公开(公告)日	2020-04-23
申请号	JP2018196241	申请日	2018-10-17
[标]申请(专利权)人(译)	日本放送协会		
申请(专利权)人(译)	日本广播公司		
[标]发明人	麻生慎太郎 町田賢司 青島賢一 東田諒 船橋信彦 菊池宏		
发明人	麻生 慎太郎 町田 賢司 青島 賢一 吉野 数馬 東田 諒 船橋 信彦 菊池 宏		
IPC分类号	G02F1/1333 G02F1/13 G02F1/1343		
FI分类号	G02F1/1333 G02F1/13.505 G02F1/1343		
F-TERM分类号	2H088/EA02 2H088/EA37 2H088/EA48 2H088/HA01 2H088/HA02 2H088/HA08 2H088/HA21 2H088/HA25 2H088/HA28 2H088/JA10 2H088/MA02 2H092/GA13 2H092/GA16 2H092/GA17 2H092/GA59 2H092/HA05 2H092/JA25 2H092/JA46 2H092/JB07 2H092/JB16 2H092/MA13 2H092/NA01 2H092/PA01 2H189/AA07 2H189/AA10 2H189/EA04Y 2H189/FA22 2H189/FA64 2H189/JA10 2H189/LA01 2H189/LA03 2H189/LA10		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

提供一种液晶光调制器，该液晶光调制器构成具有精细像素并且能够进行高对比度显示的液晶显示装置。液晶光调制器包括透明基板5，由透明电极膜形成的对电极4，液晶层20，为每个二维排列的像素设置的像素电极3和像素电极3。从上方依次设置有连接有驱动电路的电路基板，在对置电极4的下面设置有具有倾斜面的凸部4r，以使液晶层20的厚度在像素间的中央最小。沿像素之间的中心线形成并由凸部4r围绕的凹部被提供给每个像素。[选择图]图7

